MINISTERE DES ENSEIGENEMENTS
SECONDAIRE ET SUPERIEUR

BURKINA FASO
Unité-Progrès-Justice

UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU

ECOLE DOCTORALE LETTRES, SCIENCES HUMAINES ET COMMUNICATION

Laboratoire Dynamiques des Espaces et Sociétés

THESE DE DOCTORAT UNIQUE DE GEOGRAPHIE

Changements climatiques, dynamique de la végétation et perception paysanne dans le Sahel burkinabè

Présentée et soutenue publiquement le 27/07/2013

par

Awa Pounyala OUOBA

Sous la direction de

M. DA Dapola Evariste Constant,

HDR, Maître de conférences

Devant un jury international composé de :

Président : **M. BOUZOU MOUSSA Ibrahim,** Professeur Titulaire. Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger.

Rapporteur : **M. ZOUNGRANA Tanga Pierre,** Professeur Titulaire. Université de Ouagadougou, Burkina Faso.

Examinateurs : **M. GUISSE Aliou,** Professeur Titulaire. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.

M. NEBIE Ousmane, Professeur Titulaire. Université de Ouagadougou, Burkina Faso.

Directeur : **M. DA Dapola Evariste Constant,** Maître de conférences. Université de Ouagadougou, Burkina Faso

A la mémoire de *feu Batiéné Bassana,*

« Ami de la famille »,

Commandant de Gendarmerie, pour qui mon succès dans les études a été un sacerdoce.

Que le Tout Puissant l'accueille dans sa demeure éternelle.

REMERCIEMENTS

La réalisation de cette thèse a été possible grâce à l'appui et au soutien de bon nombres de personnes que je tiens à remercier ici.

Je voudrais tout d'abord, adresser ma profonde gratitude, à mon directeur de thèse, le Professeur DA Dapola Evariste Constant qui a accepté d'assurer la direction de ce travail, malgré ses multiples occupations. Merci, Professeur pour votre confiance, votre disponibilité, votre rigueur scientifique et vos nombreux conseils.

J'adresse aussi, mes remerciements au corps enseignant du Département de Géographie pour les efforts consentis à ma formation, et pour leur conseil et leur encouragement. Une mention spéciale est faite au Professeur ZOUNGRANA Tanga Pierre, qui a parrainé mon admission dans le projet LaSyRe.

Je remercie le projet LaSyRe-Sahel (A region wide assessment of land system resilience and climate robustness in the agricultural frontline of Sahel) qui m'a permis de renforcer mes capacités en matière de recherche. Ma gratitude va aussi à tous les partenaires du projet, de l'INERA, du Niger, du Sénégal et du Danemark, en particulier à Professeur Anette Reenberg, et à ses collègues Bjarne Fog, Ole Mertz, Rasmus Fensholt, Jonas Henriques, Kjeld Rasmussen, Sarah D'Haen, Laura Vang Rasmussen ainsi qu'aux étudiants de l'institut de Géologie et de Géographie de Copenhague pour avoir facilité et rendu agréable, mon séjour durant le stage d'étude au Danemark.

Je remercie les membres du jury : Professeur ZOUNGRANA Tanga Pierre et Professeur NEBIE Ousmane (Burkina Faso), Professeur BOUZOU MOUSSA Ibrahim (Niger) et Professeur GUISSE Aliou (Sénégal), qui ont bien voulu accepter de juger ce travail.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit des techniciens du CONEDD, du Bureau National des Sols (BUNASOLS), en particulier Mr Paré Tahibou, et de la Météorologie Nationale du Burkina Faso pour leurs encadrements et encouragements lors des stages d'études.

J'adresse également ma reconnaissance au Docteur Paré Souleymane et Docteur Kambiré Yacinthe Sami qui ont accepté de suivre l'évolution de mon travail. Leurs conseils, leurs orientations et leurs critiques ont été très précieux.

De même, je témoigne ma reconnaissance au laboratoire « Dynamique des espaces et sociétés » de l'Université de Ouagadougou, ainsi qu'aux étudiants pour leur assistance.

Mes remerciements vont aussi aux populations de la zone d'étude, en particulier à la famille Ag Rissa, pour leur hospitalité.

Je ne saurai terminer sans manifester ma reconnaissance à l'endroit de tous mes amis du Burkina Faso, du Bénin, de la Tanzanie, du Mali, du Ghana, de l'Afrique du Sud et du Danemark, qui ont partagé avec moi des moments de peine et de joie.

Enfin, je dis merci à ma mère, à mon père et à mes frères et sœurs pour leur bénédiction, encouragement, amour et soutien moral. Spécial remerciement à mon mari pour sa patience, son amour et ses commentaires sur mon travail. Mohamed El Béchir Mar, "*my beloved child, I am sorry for denying you your mother's love and care at such a tender age*".

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS **3**

SOMMAIRE **5**

LISTE DES ACRONYMES **6**

RESUME **8**

ABSTRACT **9**

INTRODUCTION **10**

PREMIERE PARTIE : CADRE THEORIQUE , CONCEPTUEL ET GEOGRAPHYQUE **17**

CHAPITRE 1 : CADRE THEORIQUE ET METHODOLOGIQUE 18

CHAPITRE 2 : CADRE GEOGRAPHIQUE DE L'ETUDE 61

DEUXIEME PARTIE : VISION SCIENTIFIQUE ET PERCEPTION PAYSANNE DE L'EVOLUTION DU CLIMAT **92**

CHAPITRE 3 : VISION SCIENTIFIQUE DU CHANGEMENT ET DE LA VARIABILITE CLIMATIQUES 93

CHAPITRE 4 : PERCEPTIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET STRATEGIES D'ADAPTATION 130

TROISIEME PARTIE : DYNAMIQUE DE LA VEGETATION ET PERCEPTION PAYSANNE **160**

CHAPITRE 5 : DYNAMIQUE DE LA BIOMASSE 161

CHAPITRE 6 : DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES ET PERCEPTION PAYSANNE..... 180

CONCLUSION **219**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES **228**

ANNEXES **255**

TABLES DES ILLUSTRATIONS **294**

TABLE DES MATIERES **300**

LISTE DES ACRONYMES

ACCA : Adaptation au Changement Climatique en Afrique

AGRHYMET : Centre Régional de Formation et d'Application en Agro-météorologie et Hydrologie Opérationnelle

AMMA : African Monsoon Multidisciplinary Analyses

AN : Assemblée Nationale

BNDT : Base Nationale de Données Topographiques

BUNASOLS : Bureau National des Sols

CCNUCC : Convention Cadre Des Nations unies sur le Changement Climatique

CEDEAO : Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest

CES : Conservation des Eaux et des Sols

CILSS : Comité permanent Inter-états de Lutte contre la Sécheresse au Sahel

CNUED : Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement

CO_2 : Dioxyde de carbone

CSAO : Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest

CSLP : Cadre Stratégique de Lutte contre la Pauvreté

CVD : Conseil Villageois de Développement

DMN : Direction de la Météorologie Nationale

DNSA : Direction Nationale des Statistiques Agricoles

DRED : Direction Régionale de l'Elevage de Dori

ENEC : Enquête Nationale des Effectifs du Cheptel

ENSO : Oscillation australe El Niño

ETP : Evapotranspiration Potentielle

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

GES : Gaz à Effet de Serre

GIEC : Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat

GPS : Global Positioning System

ICN : Indice de Croissance Normalisé (en anglais, NGI : Normalized Growth Index)

ICV : Indice de Condition Végétatif (en anglais, VCI : Vegetation Condition Index)

IGB : Institut Géographique du Burkina Faso

INERA : Institut de l'Environnement et de la Recherche Agricole

INSD : Institut National de la Statistique et de la Démographie

IPCC : Intergovernmental Panel for Climate Change

LaSyRe : A region wide assessment of land system resilience and climate robustness in the agricultural frontline of Sahel

MED : Ministère de l'Economie et du Développement

MEF : Ministère de l'Economie et des Finances

MRA : Ministère des Ressources Animales

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique

OMD : Objectifs du Millénaire pour le Développement

OMM : Organisation Météorologique Mondiale

OSCC : Observatoire Savoyard du Changement Climatique

PANA : Programme d'Action National d'Adaptation à la Variabilité et aux changements climatiques

PIB : Produit Intérieur Brut

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

SP CONEDD : Secrétariat Permanent du Conseil National pour l'Environnement et le Développement Durable

SPI : Standardized Precipitation Index

TM : Thematic Mapper

UO : Université de Ouagadougou

UTM : Universal Transverse Mercator

ZCIT : Zone de Convergence Inter-Tropicale

RESUME

Les changements et variabilités climatiques sont une préoccupation majeure actuelle du monde. Ils ont des impacts sur les économies sahéliennes, notamment l'agriculture, et sur les écosystèmes naturels. Depuis les crises de sécheresse, les études sur la dynamique des écosystèmes dans les zones soudano-sahéliennes ont connu un réel accroissement ; malgré cette abondance de littérature, des insuffisances ou lacunes persistent quant à l'appréhension des spécificités de cette dynamique au Sahel, surtout à l'échelle locale. De plus, les études sur la perception des populations paysannes, dans l'analyse de l'évolution des ressources naturelles et de l'évolution du climat restent toujours limitées au niveau du Sahel burkinabè.

C'est dans ce contexte que se situe la présente thèse qui vise principalement à évaluer l'évolution du climat et des écosystèmes, en rapport avec la perception paysanne au Sahel, au cours de ces vingt dernières années. Pour atteindre cet objectif, plusieurs méthodes et approches ont été utilisées. L'analyse a porté sur les tendances d'évolution de la biomasse, sur l'occupation des terres, sur le changement climatique, et enfin sur la perception. L'approche adoptée combine l'analyse numérique d'images satellitaires, l'utilisation d'indices dérivés du NDVI, l'emploi de données climatiques, l'utilisation de données issues d'enquêtes et d'observations de terrain.

Les principales conclusions issues des résultats de l'étude sont : - a) on observe une évolution négative des paramètres climatiques au cours des deux dernières décennies ; - b) la quasi-totalité de la population perçoit une évolution négative des différents paramètres climatiques , ce qui concorde dans la majorité des cas avec les analyses des données météorologiques ; - c) les changements et variabilités climatiques ont des impacts négatifs sur les activités des populations qui ont développé de multiples stratégies surtout réactives pour y faire face ; - d) la tendance générale de l'évolution de la biomasse et de l'occupation des terres au cours des vingt dernières années, est à la dégradation continue dans les trois villages étudiés ; - e) Les populations locales ont une bonne appréhension de l'évolution des écosystèmes. Leur vision est une tendance générale à la dégradation des ressources naturelles en particulier, le couvert végétal, un constat qui confirme les résultats de l'analyse spatiale.

Davantage d'études seront réalisées sur les perceptions paysannes et la dynamique des milieux au Sahel, afin d'améliorer et de redéfinir les stratégies d'adaptation climatique, et proposer la gestion durable et la valorisation des ressources naturelles.

Mots clés : Changement climatique - Dynamique de la végétation - Perception paysanne - Adaptation - Sahel - Burkina Faso.

ABSTRACT

Climate change and variability are a present major concern of the world. Climate change and variability impact negatively on agriculture, and natural ecosystems. Since the drought crises in the Sudano-Sahelian zone of Africa, there was an increasing number of studies focused on ecosystems dynamics. Despites this growing number of studies, the gap of knowledge or its scarcity is persisting, in order to capture the specificity of the dynamics at local scale. In Burkina Faso the studies of local perception on natural resources dynamics in relation to climate evolution, are still limited in the Sahelian region.

In this context, the present thesis is aiming to evaluate the land cover/land use and climate dynamics and also to capture the local perception on the changes and their consequences. In order to reach the main objective, several approaches and methods were used. To further analyze or understand the vegetation and climate dynamics, as well as farmers' perceptions, the approach adopted combine the optical images classification, the use of indices derived from NDVI data, Survey information and field data capture. The main conclusions drawn from the findings of the study are : - a) globally, there is a very high variability and a negative evolution of the climatic parameters in the study area; - b) in general, farmers have perceived the negative evolution of the different climatic variables, which was found by the analysis of meteorological data ; - c) Farmers perceive negative impacts of climate change and variability and have developed several reactive strategies to cope with; - d) the general tendency of biomass dynamic and land cover/ land use change is a declining trend during the last 20 years, in the three villages sites; - e) the farmers have a strong perception of the ecosystems evolution, for which they perceive general tendency of continuous degradation of natural resources, in particular the vegetation cover; this confirms the results obtained by the spatial analysis.

More investigations will be carried out on farmers' perceptions, ecosystems and climate dynamic in order to enhance and redefine adaptive responses, and develop sustainable management of natural resources.

Key words: Climate change - Vegetation dynamic - Farmer perception - Adaptation - Sahel - Burkina Faso.

INTRODUCTION

L'une des préoccupations majeures actuelles de la communauté internationale est la modification du climat du fait de l'exacerbation de l'effet de serre par le rejet dans l'atmosphère de gaz à effet de serre (GES), notamment le dioxyde de carbone qui est induit par les activités humaines. Pour faire, face aux menaces des changements climatiques, la communauté mondiale s'est dotée de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC) et son protocole de Kyoto. L'organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) ont créé en 1988 le groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), appelé en anglais « intergouvernemental panel for climate change », (IPCC) ; le GIEC fournit un conseil scientifique, technique et socio-économique à la communauté mondiale à travers des rapports d'évaluations périodiques sur l'état de la connaissance, des causes du changement climatique, ses impacts potentiels et les options pour des stratégies de réponse (CEDAO/CSAO/OCDE/CILSS, 2008).

Les changements climatiques sont dus à la fois à la variabilité interne du système climatique et à des facteurs extérieurs (naturels et d'origine anthropique). L'influence des différents facteurs extérieurs sur le climat peut s'expliquer par la notion de forçage radiatif, qui peut être positif ou négatif. Un forçage radiatif positif, tel que celui produit par des concentrations croissantes de gaz à effet de serre, a tendance à réchauffer la surface de la planète ; un forçage radiatif négatif, qui peut être dû à une augmentation de certains types d'aérosols (particules microscopiques véhiculées par l'air) a tendance à refroidir la surface. Des facteurs naturels tels que les changements du rayonnement solaire ou de l'activité volcanique explosive peuvent eux aussi provoquer un forçage radiatif (GIEC, 2001).

De façon générale, la première cause des changements et de la variabilité du climat citée actuellement est le phénomène du « système couplé » El Niño[1]/oscillation australe (ENSO) et la Niña. Ce phénomène consiste en un réchauffement anormal de l'océan Pacifique par les oscillations inter décennales pacifiques qui causent des changements décennaux des moyennes climatiques. A l'échelle de temps interannuel, l'ENSO cause beaucoup de variabilités à travers de nombreuses régions tropicales et subtropicales et dans certaines régions des moyennes latitudes. L'oscillation Atlantique Nord produit des perturbations sur l'Europe et le nord de l'Afrique (Meinke *et al.,* 2005; Salinger, 2005). A contrario, la phase froide de ce phénomène, lorsque les eaux du Pacifique oriental et central deviennent nettement plus froides que la normale, est depuis quelques années, dénommée par opposition la Niña. Ses effets peuvent déboucher sur d'autres anomalies climatiques, souvent opposées à celles attribuées à El Niño.

Le consensus scientifique indique que les températures globales à la surface des mers et des terres se réchauffent sous l'influence des GES qui constituent le moteur principal du changement climatique (GIEC, 2007; Hansen *et al.*, 2007). La plupart des accroissements de la température moyenne globale observée, depuis le milieu du XX^{e} siècle, est très probablement due à l'augmentation constatée de la concentration de GES. La concentration atmosphérique globale du dioxyde de carbone (CO_2), du méthane et de l'oxyde nitrique a remarquablement augmenté, dû aux activités anthropiques depuis 1750. L'accroissement global de la concentration du CO_2 est premièrement lié à l'augmentation des émissions des hydrocarbures fossiles et des changements d'utilisations des terres (GIEC, 2007). L'accroissement du méthane et de l'oxyde nitrique est lié à l'agriculture. L'utilisation des terres, l'agriculture, et les déchets comptent pour 35% des émissions de GES. Les émissions

[1] El Niño est un terme qui vient de l'espagnol et signifie "enfant Jésus" par référence à la période de l'année voisine de Noël (25 décembre) pendant laquelle ce phénomène survient en moyenne chaque 3 à 7 an.

totales anthropiques du carbone sont de l'ordre de trillions de tonnes (3.67 trillions tonnes de CO_2), environ la moitié a déjà été émise depuis le début de l'industrialisation conduisant très probablement à un pic du CO_2 ayant entraîné un réchauffement de plus de 2°C de température préindustrielle (avec un degré de confiance de 5 à 95%) (Allen *et al.*, 2009). Le réchauffement aurait été plus important ces 50 dernières années avec une hausse ayant atteint 0,13°C par décennie. En fait, même si les concentrations de GES et les aérosols restaient constantes à leur niveau de l'année 2000, un réchauffement futur d'environ 0,1°C par décennie se poursuivrait durant le XXI^{e} siècle (GIEC, 2007).

Selon le GIEC, en plus de la hausse des températures moyennes, les manifestations des changements climatiques à l'échelle mondiale sont entre autres, la montée du niveau des océans et des mers, et de la variabilité pluviométrique. Parmi les changements anticipés à l'échelle régionale, les scénarios indiquent une contraction de la couverture neigeuse, une augmentation d'épaisseur de la couche de dégel dans la plupart des régions à pergélisol (sol dont la température reste égale ou inférieure à 0°C toute l'année) et une diminution de l'étendue des glaces des mers. Selon certaines projections, les eaux de l'Arctique seraient pratiquement libres de glace à la fin de l'été d'ici la deuxième moitié du XXI^{e} siècle (GIEC, 2007).

L'impact du changement climatique est au centre de toutes les attentions (Gornall *et al.*, 2010; Requier-Desjardins, 2010). Cet impact touchera tous les pays du monde, avec une ampleur variable selon les régions (Barrios *et al.*, 2008; Tarhule, 2011). Il est annoncé une augmentation de la fréquence des températures extrêmes, des vagues de chaleur et de l'occurrence probable des précipitations extrêmes (probabilité de 90% à 95%). Avec ce même niveau de probabilité, une augmentation des précipitations aux latitudes élevées et, au contraire, une diminution sur la plupart des terres émergées subtropicales, conformément aux tendances relevées à la fin du XX^{e} siècle, devraient se produire. Les zones tropicales

connaîtront une augmentation probable (probabilité de 66% à 90%) de l'intensité des cyclones (GIEC, 2007).

Vers le milieu du XXI^{e} siècle, le débit moyen annuel des cours d'eau et la disponibilité en eau devraient augmenter en raison du changement climatique aux latitudes élevées et dans certaines zones tropicales humides ; et diminuer dans des régions sèches aux latitudes moyennes et dans les régions tropicales sèches (Bates *et al.*, 2008). Les ressources hydriques vont donc se raréfier dans les régions où elles font déjà souvent défaut, essentiellement dans les pays du Sud. Ainsi selon le GIEC (2007), à court terme, 75 à 250 millions de personnes supplémentaires devraient souffrir d'une pénurie d'eau accentuée par les changements climatiques en Afrique subsaharienne d'ici à 2020.

Comme le climat a une influence importante sur l'environnement global, son dérèglement pourrait avoir des incidences néfastes sur le fonctionnement des écosystèmes aussi bien terrestres que maritimes. Les changements de la fréquence, de l'intensité, de l'étendue et de la situation des perturbations, influeront les risques et le rythme de remplacement des écosystèmes existants par de nouveaux écosystèmes. Les perturbations peuvent accélérer la disparition des espèces et créer des opportunités pour l'établissement de nouvelles espèces (Gitay *et al.*, 2002; FAO, 2007). Les écosystèmes des régions arides et semi-arides seront fortement touchés (Thornton *et al.*, 2009). Ces évolutions climatiques affectent négativement les pâturages et, de facto, l'élevage dans différentes parties du globe très vulnérables telles que les régions sèches africaines. Des études ont montré que les changements de température et de la pluviométrie dans le futur, modifieront et limiteront souvent les effets directs du CO_2 sur les plantes (GIEC, 2007). En termes d'impacts sur les zones pastorales (grasslands), l'accroissement durable de la moyenne des températures conduira à un changement dans la

distribution spatiale des espèces, de leur composition et de la distribution des biomes des parcours. Il y a en général, une forte relation entre la sécheresse et la santé animale. Les projections de l'accroissement des températures et de la réduction des précipitations dans les régions telles que l'Afrique du Sud, conduiront à l'augmentation des pertes de bétail durant les évènements extrêmes dans les régions sèches. La synthèse du quatrième rapport du GIEC (2007) montre les impacts sur les zones pastorales (grasslands) pour des changements de températures différentes : pour un réchauffement de plus de 2°C, des impacts positifs sur le pâturage et la productivité du bétail sont suggérés dans les régions humides tempérées ; au contraire, des impacts négatifs sont prédits dans les régions arides et semi-arides.

De manière plus globale, la hausse des températures associée à une variabilité accrue des précipitations entraînera des dysfonctionnements des saisons agricoles, des perturbations des cycles biologiques des cultures et une détérioration des productions agricoles (Dixon, 2009).
En général, la production alimentaire globale, augmenterait avec des accroissements locaux des températures moyennes entre 1 à 3°C, mais au-delà de ces valeurs, elle diminuerait (GIEC, 2007). Dans les hautes latitudes, la productivité des cultures pourrait augmenter légèrement, avec des accroissements de températures moyennes modérées locales (1-3°C), selon les cultures ; tandis que selon certaines projections, à des basses latitudes, la productivité des cultures diminuerait pour des évènements d'augmentation des températures locales relativement petites (1-2°C) (GIEC, 2007; Rosenzweig *et al.,* 2007). Par exemple, dans les régions tropicales et subtropicales, en général, les rendements pourraient chuter de 10 à 20% d'ici à 2050 à cause du réchauffement et de l'assèchement. Cependant, il ya des régions où les pertes pourraient être plus sévères, voire catastrophiques (Jones *et al.,* 2003; Thornton *et al.,* 2010; Thornton *et al.,* 2011).

Les impacts du changement et de la variabilité climatiques nécessiteront une gestion à différentes échelles, à travers l'atténuation et l'adaptation (Ayers *et al.*, 2009). Ces deux options de gestion pourraient réduire par exemple les risques d'insécurité alimentaire. La réduction de la vulnérabilité aux changements climatiques est donc devenue une question urgente ces dernières années, nécessitant l'attention des gouvernements, et des organisations non gouvernementales et environnementales. Cette situation a conduit à l'élaboration de Programmes d'Action National d'Adaptation à la variabilité et aux changements climatiques (PANA), et de l'Adaptation au Changement Climatique (ACCA) par la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC), dans la majorité des pays africains.

Des recherches sur l'adaptation aux changements climatiques sont développées en conséquence (Berkes *et al.*, 2001; Mortimore *et al.*, 2001; Seguin, 2003; Adger *et al.*, 2005; Ziervogel *et al.*, 2006). Cependant il y a toujours, selon le GIEC, le besoin d'améliorer les connaissances sur le rôle des complexes systèmes socio-économiques, socioculturels et biophysiques et le lien entre changement climatique et adaptation en Afrique (Boko *et al.*, 2007). Du fait que le climat continuera de changer et face au besoin d'élaboration de stratégies d'adaptation futures aux changements climatiques, il est important de comprendre comment les populations locales perçoivent le changement de leur environnement, et comment elles y font face dans le contexte du changement et de la variabilité climatiques ; de là découle l'intérêt de la présente thèse dont le titre est : « C**hangements climatiques, dynamique de la végétation, et perceptions paysannes dans le Sahel burkinabé** ».

L’étude s’articule autour de trois parties :

- la première partie porte sur la présentation du cadre de travail ;

- la deuxième partie traite de l’évolution du climat, de la perception du changement et de la variabilité climatiques, ainsi que des stratégies d’adaptation des populations locales

- la troisième partie est consacrée à l’étude de la dynamique de la végétation et de la perception paysanne de l’évolution de l’environnement.

PREMIERE PARTIE : CADRE THEORIQUE , CONCEPTUEL ET GEOGRAPHYQUE

La première partie de la thèse comprend deux chapitres : le premier chapitre présente le cadre théorique de l'étude à savoir le contexte général de l'étude à travers une revue de littérature, le cadre conceptuel et les approches méthodologiques adoptées.

Le deuxième chapitre porte sur la présentation de la zone d'étude, à travers la description du milieu et des activités socio-économiques.

CHAPITRE 1 : CADRE THEORIQUE ET METHODOLOGIQUE

Les changements et variabilités climatiques sont actuellement parmi les plus grands défis du développement auxquels sont confrontés le monde, et plus encore les pays pauvres. La situation est particulièrement préoccupante pour les pays sahéliens dont l'économie est en grande partie basée sur l'agriculture pluviale et l'élevage. Cependant, depuis une quarantaine d'années, ces deux principaux domaines de production subissent des aléas, liés à des conditions écologiques et climatiques sévères. Le présent chapitre donne une vue synthétique des travaux réalisés sur l'évolution récente de l'environnement et du climat au Sahel, et l'impact climatique sur les systèmes de production agro-pastorale.

Le chapitre est divisé en trois sections :

- la première section présente le cadre théorique de l'étude à travers le contexte du changement climatique au Sahel, l'impact du changement et de la variabilité climatique, les dynamiques des écosystèmes et les perceptions locales des changements environnementaux et climatiques, ainsi que les stratégies d'adaptation ;

- la deuxième section porte sur le cadre conceptuel de l'étude ;

- et enfin la troisième section présente les approches méthodologiques utilisées.

1.1 CADRE THEORIQUE DE L'ETUDE

Cette section de l'étude est consacrée à la revue de littérature. Celle-ci porte sur les recherches menées en Afrique en général, et met particulièrement l'accent sur le Sahel à l'échelle régionale.

1.1.1 Changement et variabilité climatiques au Sahel

1.1.1.1 Causes du changement et de la variabilité climatiques

Des recherches et expériences des décennies récentes ont montré que le phénomène ENSO joue un rôle important en particulier, dans l'explication de la variabilité pluviométrique dans beaucoup de pays tropicaux et subtropicaux. Cependant, l'ENSO n'est pas la seule source de variabilité pluviométrique.

Une simulation de 500 années à travers un modèle climatique couplé à un modèle océanique a été utilisée par Hunt en 2000, pour évaluer la variabilité pluviométrique au Sahel. Les résultats indiquent que les anomalies récentes de la pluviométrie sahélienne peuvent être attribuées à la variabilité climatique naturelle provenant des anomalies de la température à la surface de la mer dans l'océan Pacifique. Selon Hulme (2001), il est possible que la principale cause de l'assèchement au Sahel soit naturelle à l'origine ; elle peut être liée à une faible fréquence et à une réponse apériodique du système couplé océan-atmosphère avec des forçages hasardeux.

Dans le Sahel ouest-africain, la pluviométrie est contrôlée par des téléconnections du climat global, incluant celles associées à ENSO, aux oscillations de l'Atlantique nord et aux systèmes du climat régional, lesquels systèmes incluent la discontinuité intertropicale, les moussons, les anticyclones subtropicaux, les anomalies de la température à la surface de la

mer, les vents atmosphériques et la localisation des jets, etc. (Nicholson *et al.*, 2001; Fall *et al.*, 2006; Nicholson *et al.*, 2007; Janicot *et al.*, 2011; Rodriguez-Fonseca *et al.*, 2011; Sarr, 2012).

1.1.1.2 Changements climatiques observés et prédits

Les études sur le changement et la variabilité du climat ouest-africain, en particulier la pluviométrie, sont de plus en plus nombreuses (Adiku *et al.*, 1997; Gautier *et al.*, 1998; Hunt, 2000; Brown *et al.*, 2008; Nicholson, 2008; Laux *et al.*, 2009; Druyan, 2010; Sarr, 2012). Les pays de cette région du monde, ont été depuis les années 1970 soumis aux effets de la péjoration pluviométrique. Plusieurs travaux ont été menés à l'échelle régionale sur l'analyse de l'évolution du climat et de ses caractéristiques, en particulier la « mousson » ouest africaine dont dépend la pluviométrie (Sivakumar, 1990; Ozer *et al.*, 2009; Fontaine *et al.*, 2011; Hastenrath *et al.*, 2011; Lafore *et al.*, 2011; Paeth *et al.*, 2011; Rodriguez-Fonseca *et al.*, 2011).

Au Sahel, selon l'étude de Hulme (2001), l'évolution de la moyenne des totaux pluviométriques des 30 dernières années montre une tendance à la réduction de la pluviométrie pendant les décennies qui se sont succédées depuis 1930 (1931-1960,1941-1970, 1951-1980 et 1961-1990). Une autre étude faite dans les zones semi-arides et subhumides en Afrique de l'ouest confirme la même tendance avec une période de fortes pluies dans les années 1950 et 1960, suivie d'un déclin considérable dans les années 1970 et au début des années 1980 (Frappart *et al.*, 2009; Ozer *et al.*, 2009; Hastenrath *et al.*, 2011).

Des études récentes sur l'évolution pluviométrique montrent une légère rémission ces deux dernières décennies, marquées cependant, par une grande variabilité (Verhagen, 2001; Dai *et*

al., 2004; Nicholson, 2005; Balme *et al.*, 2006; Sawadogo, 2007; Lebel *et al.*, 2009; Ali, 2010).

D'après les projections faites à l'aide de modèles climatiques, de nombreuses régions arides dans le reste du monde pourraient connaître un niveau de précipitations accru. Néanmoins, cette thèse optimiste ne semble pas s'appliquer en Afrique où les régimes pluviométriques pourraient accuser une baisse de plus de 20 % par rapport aux niveaux de 1990 (FPA, 2007). Le Sahel pourrait connaître une réduction considérable des précipitations et une variabilité plus élevée au début de la saison des pluies à l'horizon 2050 (Karambiri *et al.*, 2011). Dans l'étude de Paeth *et al.* (2011) basée sur des projections, tous les résultats de modèles régionaux climatiques ENSEMBLES (Ensembles-based Predictions of Climate Changes and Their Impacts) et des projets AMMA (African Monsoon Multidisciplinary Analyses) montrent une prévalence de tendance à l'assèchement en Afrique Sub-saharienne.

Au Burkina Faso, l'utilisation des données de projections aux horizons temporels 2025 et 2050 de la pluviométrie à l'aide de modèles de circulation atmosphérique générale montre une baisse des précipitations sur l'ensemble du pays (1951 à 2006) (Ouédraogo, 2007).

Selon les observations sur le climat, il s'avère que l'Afrique a subi une hausse des températures de l'ordre de 0,6 à 0,7°C, plus rapide que la moyenne mondiale. Les températures en Afrique de l'ouest, et particulièrement au Sahel, ont évolué plus rapidement que la tendance à l'échelle mondiale, avec des accroissements allant de 0,2°C à 0,8°C par décennie depuis la fin des années 1970 dans les domaines sahélo-sahariens et soudaniens (CEDAO/CSAO/OCDE/CILSS, 2008). La hausse observée est toutefois plus importante sur les températures minimales (jusqu'à plus de +1°C) que sur les maximales (jusqu'à + 0,5°C). Des études sur l'évolution des tendances futures de température indiquent que de vastes

régions africaines, notamment le Sahel, pourraient subir un réchauffement de l'ordre de 3 à 6° Celsius d'ici à 2100 (FPA, 2007).

Au Burkina Faso, on note une hausse des températures minimales et maximales sur l'ensemble du pays durant la période d'années de 1961 à 2006 ; une hausse des températures moyennes annuelles de l'ordre de +0,8°C et +1,5°C, respectivement pour les horizons temporels 2025 et 2050 (Ouédraogo, 2007).

1.1.2 Impacts du changement climatique

Les changements et variabilités climatiques pourraient avoir des impacts sur les écosystèmes et l'économie des pays africains notamment ceux du Sahel.

Pour ne considérer que les impacts sur l'agriculture, les changements de la fréquence et de la sévérité des extrêmes climatiques auront des conséquences significatives sur la production et la sécurité alimentaire. Les projections de l'accroissement des fréquences de l'augmentation de la chaleur, de la sécheresse et des inondations auront des effets sur la productivité agricole et pastorale (GIEC, 2007).

Au cours des dernières décennies, le Burkina Faso comme les autres pays du Sahel, a fait face à un enchaînement d'événements climatiques «extrêmes» d'une ampleur et d'une rapidité sans précédent. On peut évoquer les périodes de sécheresse des trois dernières décennies dont les années les plus touchées furent 1973-74 et 1983-84 et qui ont grandement affecté les écosystèmes ainsi que les systèmes de production burkinabè (CILSS-AGRHYMET, 2010).

1.1.2.1 Changement climatique et agriculture

Le changement climatique représente une grande menace pour la croissance et le développement durable en Afrique (Galvin *et al.*, 2004; Brown *et al.*, 2007; FPA, 2007; Barrios *et al.*, 2008; Burke *et al.*, 2009; Apata *et al.*, 2010). L'Afrique de l'ouest en particulier, est l'une des régions au monde la plus vulnérable à la variabilité climatique. Cette vulnérabilité est aggravée par les multiples stress survenant à différents niveaux à savoir la dépendance de l'agriculture à la pluviométrie, la récurrence de la sécheresse, la pauvreté, l'accroissement de la population et la faible capacité d'adaptation (Niasse *et al.*, 2004; Kandji *et al.*, 2006; Kurukulasuriya *et al.*, 2006; Boko *et al.*, 2007; Hassan, 2010; Ozer *et al.*, 2010). La situation est beaucoup plus préoccupante pour le Sahel, du fait de sa position géographique au sud de la lisière du désert saharien et de la forte dépendance de sa population à l'agriculture pluviale et à l'élevage ; des études ont d'ailleurs souligné les impacts négatifs possibles de la variabilité climatique sur la productivité agricole et le besoin de développer des stratégies d'adaptation adéquates et améliorées (Duivenbooden *et al.*, 2002; Kurukulasuriya *et al.*, 2006; Ouédraogo, 2007; Maddison *et al.*, 2007a; Frappart *et al.*, 2009; Seo *et al.*, 2009; Apata *et al.*, 2010).

La sous région sahélienne a été portée à l'attention de la communauté internationale il y a déjà plusieurs décennies, par les grandes sécheresses qu'elle a connu au début des années 1970 et 1980. Ces perturbations climatiques ont grandement affecté les économies, ainsi que les écosystèmes. Les actions entreprises par le comité permanent inter-états de lutte contre la sécheresse dans le Sahel (CILSS) et ses partenaires, depuis sa création en 1973, ont beaucoup contribué à réduire les impacts négatifs de ces perturbations climatiques. Cependant, les systèmes de production et les modes de vie des populations de la sous région, essentiellement agropastorales, demeurent vulnérables aux aléas du climat. En effet, la sous région a connu

en 2007, 2008 et 2009 les pires inondations depuis plus de 30 ans. Les pertes occasionnées par ces intempéries sont estimées à plusieurs milliards de dollars (CILSS-AGRHYMET, 2010). Ainsi, la recrudescence ces dernières années, de phénomènes extrêmes comme les sécheresses et les inondations, certes parfois localisés mais très dévastateurs, pourrait entraver la réalisation des objectifs du millénaire pour le développement (OMD) (Tarhule, 2005; Ali, 2010). Le cas le plus sérieux est celui de l'objectif de réduction de la pauvreté et de la faim, dont la réalisation tient principalement aux performances d'une agriculture qui est très fragilisée par le changement climatique. Plus de 95 % de l'agriculture africaine subit les aléas de la pluviométrie. La production agricole sera fortement compromise par le changement et la variabilité climatiques. Les superficies de terres arables, la durée des saisons de culture et le rendement par hectare sont susceptibles de baisser, ce qui pourrait compromettre la sécurité alimentaire et accentuer la malnutrition (Ekpoh, 2010). Egalement, dans le Sahel ouest-africain, plus de 80% des 55 millions de sa population rurale est impliqué dans l'agriculture. Ce secteur contribue presqu'à 35% du produit intérieur brut (PIB) des pays. C'est donc évident que le changement du climat affecte sérieusement les économies de ces pays. Les pertes économiques comme résultat du changement climatique sont estimées à plus de 14% de GDP (Gross Domestic Product, en français : produit national brut) (FAO, 2010). Les aléas climatiques en Afrique de l'ouest entraîneront des pertes de la production agricole équivalente à 2 à 4% du PIB régional d'ici à 2100 (CEDAO/CSAO/OCDE/CILSS, 2008). Ajouté à cette situation, le taux d'augmentation de la population (sensiblement 3%) entraîne une pression progressive sur les écosystèmes. Ainsi, les changements climatiques prévus (hausse des températures extrêmes, augmentation des déficits pluviométriques et de la violence des précipitations notamment) ont potentiellement des conséquences désastreuses pour le Sahel.

1.1.2.2 Changement climatique et élevage

Dans les régions arides et semi-arides, la production pastorale occupe une place importante dans l'économie. Les zones pastorales fournissent la ressource de base pour la production du bétail ; elles sont cependant, exposées à la menace du changement climatique. Celui-ci affecte en effet, les activités et la productivité pastorale en Afrique. La réduction des précipitations, beaucoup plus prononcée dans la région du Sahel, a conduit à la désertification, la migration des éleveurs vers le sud et à la baisse des débits des cours d'eau. Des estimations montrent que les niveaux des fleuves Sénégal et Gambie ont baissé de presque 60% dans les années 1970 et 1980 (FAO, 2007).

Au Burkina Faso, le secteur élevage contribue à la sécurité alimentaire et il a participé pour près de 12% au PIB en 2000. Le secteur élevage figure aujourd'hui au second rang en valeur des exportations totales du pays après le coton (MRA, 2003).

Les impacts du changement climatique sur l'élevage vont probablement passer par un accroissement de la sévérité et de la fréquence des sécheresses. La détérioration des pâturages durant les sécheresses et les périodes de surpâturages pourront occasionner des maladies et la mort du bétail et des impacts sur la sécurité alimentaire pour ceux qui possèdent des animaux (Ziervogel *et al.*, 2008). En plus, les changements climatiques, à travers les précipitations irrégulières et les conditions extrêmes du temps telles que les longues et fréquentes sécheresses, jouent sur la qualité et la quantité du pâturage ainsi que sur sa répartition spatiale. Dans ces changements d'environnement, la mobilité des éleveurs deviendra très importante.

1.1.3 Dynamique des écosystèmes

Depuis la Conférence des nations unies sur l'environnement et le développement (CNUED) tenue à Rio de Janeiro, en juin 1992, les questions de changements climatiques sont

prioritaires dans la protection de l'environnement, aussi bien au niveau des pays industrialisés (historiquement responsables de ces changements) que des pays en développement (ceux qui n'ont joué qu'un rôle mineur).

La végétation naturelle est une ressource très importante dans l'économie des pays sahéliens. Elle fournit le pâturage naturel pour l'alimentation du bétail, fertilise les sols et permet aux populations rurales de subvenir à leurs besoins par la provision en divers produits ligneux et non ligneux (Vandenbeldt *et al.*, 1992; Lykke, 2000; Lykke *et al.*, 2004; Ganaba *et al.*, 2005; Paré *et al.*, 2009; Krohmer *et al.*, 2006). Ainsi la variabilité inter annuelle de la production de la biomasse aura des impacts sur l'équilibre écologique sahélien et sur la production agricole et pastorale. De ce fait, pour définir des stratégies de gestion optimale pour le Sahel dans le contexte d'un climat changeant, il est crucial de comprendre l'organisation des ressources naturelles et leurs dynamiques en relation avec les besoins humains de la zone.

1.1.3.1 Tendances d'évolution des écosystèmes

L'appréhension de l'état et de l'évolution des écosystèmes est une nécessité dans les régions arides et semi-arides due à leur importance dans la gestion des écosystèmes, la lutte contre la pauvreté et l'adaptation au changement climatique (Lambin *et al.*, 2003; Stephenne *et al.*, 2004; Winslow *et al.*, 2004; Woomer *et al.*, 2004; Bénié *et al.*, 2005; Sanon, 2007; Tschakert, 2007a). Les écosystèmes des zones sèches sont depuis des années, influencés par une variabilité climatique sans précédent qui accroit leur fragilité (Turner, 1999; Archer, 2004; Funk *et al.*, 2006; Okayasu *et al.*, 2010; Vanderpost *et al.*, 2011).

Le Sahel, un des plus grands domaines arides, a retenu l'attention internationale depuis les crises de sécheresses des années 1970; malgré cette abondance d'études, la dynamique des

écosystèmes sahéliens a souvent été objet de controverses relatives aux tendances d'évolution du couvert végétal (Rasmussen *et al.*, 2001; Ariori *et al.*, 2005; Heumann *et al.*, 2007; Ozer *et al.*, 2007; Fensholt *et al.*, 2011; Eisfelder *et al.*, 2012).

Le Sahel ouest-africain, en particulier, a longtemps souffert de narrations négatives sur les tendances de son environnement depuis les sévères sécheresses des années 1970. Beaucoup de travaux antérieurs ont porté principalement sur les causes et les conséquences de la dégradation des écosystèmes (Corillon *et al.*, 1984; Biswas, 1986; Sterk *et al.*, 1996; Nicholson *et al.*, 1998). Des études récentes font également état d'une dégradation continue des écosystèmes au cours des dernières décennies, surtout due aux méthodes de production inappropriées et à l'influence des aléas climatiques

A l'opposé de ces études qui attestent la dégradation continue de la végétation sahélienne, certains auteurs affirment un retour à une situation favorable du couvert végétal ou phénomène de « reverdissement » (Anyamba *et al.*, 2005; Herrmann *et al.*, 2005; Olsson *et al.*, 2005; Reij *et al.*, 2009; Haglund *et al.*, 2011; Jong *et al.*, 2011). Cette controverse sur la dynamique de la végétation sahélienne soulève la question des causes.

1.1.3.2 Causes d'évolution de la végétation

Les paysages des régions semi-arides et arides se modifient sous les effets combinés des changements d'utilisations des terres et du changement climatique (Tobler *et al.*, 2003; Karnieli *et al.*, 2008; Garedew, 2010; Laouina *et al.*, 2010; Dunne *et al.*, 2011)**.**

Des études récentes sur l'appréhension des causes d'évolution de la végétation au Sahel sont généralement basées sur l'approche spatiale par télédétection, à l'échelle régionale (Evans *et al.*, 2004; Hountondji *et al.*, 2005; Seaquist *et al.*, 2009; Bégué *et al.*, 2011; Fensholt *et al.*, 2011; Rojas *et al.*, 2011). Les auteurs évoquent plusieurs facteurs tels que les paramètres

climatiques, les activités humaines, le surpâturage, etc. (Ozer *et al.*, 2005; Retzer, 2006; Badini *et al.*, 2007; Leblanc *et al.*, 2008; Boulain *et al.*, 2009; Hiernaux *et al.*, 2009; Hiernaux *et al.*, 2009; Miehe *et al.*, 2010; Huber *et al.*, 2011) ; cependant, il faut noter que des divergences subsistent tant sur les causes d'évolution du couvert végétal, que sur les méthodes de détermination de ces causes (Hein, 2006; Retzer, 2006; Prince *et al.*, 2007).

En plus des analyses scientifiques, l'implication des communautés locales et le rôle de la connaissance locale dans l'appréhension de l'évolution de l'environnement est en progression.

1.1.4 Perception locale et stratégies d'adaptation au changement climatique et environnemental

L'adaptation au changement et à la variabilité climatique s'observe en deux étapes: - la première nécessite que les populations locales perçoivent un changement du climat ; - et la seconde, qu'elles développent des stratégies d'adaptation (Maddison, 2006).

Les études de connaissance et de perception de l'environnement, de la gestion des ressources naturelles, des adaptations aux changements climatiques sont de plus en plus intégrées dans les recherches scientifiques (Farooquee *et al.*, 2004; Fairhead *et al.*, 2005; Brou *et al.*, 2007; Tschakert, 2007b; Krishnamurthy *et al.*, 2011).

Pour s'adapter aux problèmes environnementaux globaux (dégradation du milieu et changement climatique par exemple), cela dépendra aussi bien des valeurs humaines (culturelles) que des expertises scientifiques. Selon Heyd *et al.* (2009), la culture joue un rôle important entre les réponses humaines (adaptations) et les changements environnementaux. Ces réponses dépendent lourdement de l'étendue avec laquelle, les sociétés entretiennent des rapports avec leur environnement naturel.

1.1.4.1 Perception paysanne du changement climatique et environnemental

Ces dernières années la question de la perception locale est de plus en plus considérée dans les études portant sur l'évolution des écosystèmes sahéliens en relation avec les changements climatiques (Roncoli, 2006; Thomas *et al.*, 2007; West *et al.*, 2008; Barbier *et al.*, 2009; Mertz *et al.*, 2009a). Plusieurs études ethnobotaniques et ethno-pédologiques révèlent l'importance des connaissances et perceptions paysannes dans l'appréhension des changements des écosystèmes (Berkes *et al.*, 2000; Barrera-Bassols *et al.*, 2003; Niemeijer *et al.*, 2003; Warren *et al.*, 2003; Van Asten *et al.*, 2004; Barrios *et al.*, 2006; Da *et al.*, 2006).

Des études montrent que les populations locales sont des témoins du changement du climat, et sont également conscientes et inquiètes des impacts climatiques (Roncoli, 2006; Nyong *et al.*, 2007; Thomas *et al.*, 2007; Slegers, 2008). Considérant le rôle que les visions et connaissances des populations locales peuvent jouer dans l'adaptation aux impacts actuels et futurs, des études ont été menées au Sahel ouest-africain pour évaluer et comprendre les perceptions locales des changements et variabilités climatiques ainsi que les stratégies d'adaptation ; la nécessité d'intégrer ces perceptions dans les questions de développement est également mentionnée (Mortimore *et al.*, 2001; Manga *et al.*, 2009; Mertz *et al.*, 2009a; Ekpoh, 2010).

1.1.4.2 Adaptation au changement climatique et environnemental

L'étude de l'adaptation des populations à la variabilité climatique et à leur gestion des écosystèmes n'est pas récente, surtout dans les pays du Sahel. Face à la dégradation constante de leurs conditions d'existence, les populations sahéliennes ont développé des actions multiformes d'adaptation (Reardon *et al.*, 1988; PANA, 2003; Barbier *et al.*, 2009; Akponikpè *et al.*, 2011; Mertz *et al.*, 2011). Celles-ci concourent essentiellement à maintenir et/ou à améliorer la productivité de leurs écosystèmes.

Les systèmes de production agricole des régions sub-sahariennes subissent depuis quelques décennies de nombreuses transformations sous la contrainte de changements socio-économiques (croissance de la population, globalisation des échanges, exode rural, etc.) ou environnementaux (sécheresse persistante, modifications des climats) (Masse, 2007). Ces changements ont un impact sur les propriétés des sols, plus particulièrement sur le fonctionnement biologique et la dynamique des matières organiques. Les communautés rurales africaines sont exposées à des problèmes d'ordre multidimensionnel qui plombent de façon significative leur développement économique et social. Cette situation qui risque d'être exacerbée par la menace des changements climatiques, nécessite de la part des groupes vulnérables et des décideurs, une meilleure compréhension du phénomène en termes d'enjeux économiques et sociaux pour leur permettre de s'adapter ; toutefois les différentes stratégies d'adaptation développées par les populations (adaptations traditionnelles) ou introduites (adaptations modernes) sont confrontées à des contraintes d'ordre politique, foncier, culturel, et économique. Les structures économiques et les processus politiques nationaux peuvent affecter la capacité adaptative locale. La perception locale de ces phénomènes est une dimension non négligeable de la problématique d'autant plus qu'en sus de la dimension physique, le climat a une dimension spirituelle et émotionnelle marquée chez les communautés locales (ACCA, 2007).

Dans la littérature, il ressort que la période récente est caractérisée par une variabilité spatiale et une variabilité interannuelle du climat en Afrique, particulièrement au Sahel régionale. Des études sur l'évolution des tendances futures de température montrent aussi que de vastes régions africaines, notamment le Sahel, pourraient subir un réchauffement. Ces changements et variabilités climatiques actuels et futurs ont des impacts sur les écosystèmes et sur les moyens de subsistance des populations sahéliennes, qui devront développer des stratégies

efficaces pour s'y adapter, à travers une lecture endogène de l'évolution de leur environnement.

Dans cette section de l'étude, il convient de retenir que beaucoup de travaux de recherche ont été menés sur les changements climatiques et leurs impacts sur l'environnement en Afrique, et au Sahel surtout sur le plan régional. Dans la section suivante, la revue de littérature porte sur les études réalisées au Sahel à l'échelle nationale, particulièrement, au Burkina Faso.

1.2 CADRE CONCEPTUEL DE L'ETUDE

Les paragraphes qui suivent portent sur le cadre conceptuel pour les différents thèmes abordés dans les travaux : variabilité et changement climatiques, dynamique de la végétation, perceptions paysannes. Cette section est subdivisé en trois sous sections dont :

- la première porte sur la justification ;

- la deuxième présente les hypothèses et les objectifs de l'étude ;

- et la troisième concerne la définition des concepts.

1.2.1 Justification de l'étude

Plusieurs études sur l'évolution des écosystèmes et du climat ainsi que celles menées sur les perceptions paysannes afin de mieux comprendre leurs adaptations sont réalisées au Sahel. L'économie des pays sahéliens est dépendante de la pluviométrie. Cependant, la variabilité qui la caractérise rend encore plus vulnérable les activités agro-pastorales. La détermination des paramètres saisonniers et intra-saisonniers, à savoir la date de début, la durée, la fin de la saison ainsi que l'occurrence des séquences sèches durant les phases de croissances des plantes est une préoccupation majeure (Sivakumar, 1988; Tarhule *et al.*, 1998; Odekunle,

2004). La connaissance de ces différents paramètres est importante pour les stratégies culturales en matière de programmation du calendrier agricole ; à cela s'ajoutent les influences des pesanteurs sociales qui peuvent limiter l'adaptation des populations locales (Adger *et al.*, 2003; Eakin, 2003; Adger *et al.*, 2009; Bryan *et al.*, 2009; Nielsen *et al.*, 2010b; Deressa *et al.*, 2011; Frank *et al.*, 2011).

Au Burkina Faso comme dans la plupart des pays sahéliens, des études sur les paramètres saisonniers sont souvent basées sur le calcul des indices pluviométriques, des approches de modélisation statistique ou de modèles agricoles. Ces études sont très souvent menées aux échelles régionale et nationale (Dodd *et al.*, 2001; Sultan *et al.*, 2005; Ibrahim *et al.*, 2012). Sachant que la pluviométrie est très variable à l'échelle temporelle et spatiale, il est important de mener des études au niveau local de manière détaillée, afin de mieux renseigner les résultats obtenus à l'échelle régionale (Graef *et al.*, 2001).

Compte tenu de l'importance des écosystèmes pour l'équilibre écologique et comme soutien aux systèmes de production, le suivi de leur évolution est alors important pour la gestion des productions agro-pastorales. La littérature sur l'évolution des écosystèmes sahéliens est bien fournie, quoique certaines études réalisées à une échelle régionale, ne permet pas très souvent de mieux capter les processus qui concourent à la dynamique des paysages (Pouchin *et al*., 2002; Heumann *et al*., 2007; Hountondji, 2008; Cotonnec *et al*., 2011; Emeterio *et al*., 2011; Hein *et al*., 2011). Ainsi, les études menées à l'échelle régionale pourraient cacher des particularités ou disparités locales qui sont importantes dans la compréhension des processus de dynamique (Agnew *et al*., 1999).

Au Burkina Faso, des études récentes sur la dynamique de la végétation existent dans les partie soudanienne (Ouédraogo, 2006; Paré *et al.*, 2008; Ouédraogo *et al.*, 2011). Cependant, dans la partie nord du pays, la littérature est plus rare, particulièrement en ce qui concerne les

processus de modification des paysages. Ces processus peuvent être déterminés par une matrice de transition ; cette transition se définie comme un processus de changement d'un système dans lequel le caractère structural du système se transforme (Martens *et al.*, 2002). Améliorer la connaissance sur les mécanismes de conversion des terres pouvant contribuer à la gestion durable des ressources naturelles, et la réduction de la vulnérabilité de la population locale nécessite une bonne appréhension de la dynamique de l'occupation des terres.

En plus des études basées sur l'utilisation des données scientifiques, des travaux sur la perception locale de l'évolution du climat et des ressources naturelles au Sahel burkinabè existent (West *et al*., 2008; Barbier *et al*., 2009). Mais, l'analyse de la vision locale sur la variabilité climatique reste insuffisante (Müller et *al*., 2002; Lykke *et al*., 2004; Maranz, 2009; Ouédraogo *et al*., 2010; Nielsen *et al*., 2010a; Sop *et al*., 2011).

Il ressort de la synthèse de la littérature existante que des études sont menées au Burkina Faso sur la dynamique des écosystèmes et du climat ainsi que sur les perceptions paysannes. Selon West *et al.* (2008), les connaissances locales permettent de mieux comprendre la nature des processus environnementaux et constituent un complément indispensable à la science. Cependant, des insuffisances ou lacunes de connaissances récentes existent sur les études réalisées à l'échelle locale, et surtout dans la partie sahélienne du pays, beaucoup plus touchée par la crise climatique. Il s'avère donc nécessaire d'intensifier la recherche sur les cas spécifiques pour aboutir à la détermination d'une configuration régionale objective, à même de pouvoir orienter efficacement la prise de décision pour la mise en œuvre efficace des Programme d'Action National d'Adaptation à la Variabilité et aux changements climatiques (PANA) et de stratégies de gestion durable des ressources naturelles. C'est dans ce contexte que se situe la présente étude. Celle-ci vise à analyser la dynamique des changements

climatiques et environnementaux en rapport avec les perceptions locales dans la partie nord du Burkina Faso, qui correspond à la région sahélienne.

Dans cette perspective, une question principale se pose : la mesure scientifique des changements biophysiques coïncide-t-elle avec la perception locale au Sahel, au cours des deux dernières décennies? Les questions spécifiques qui en découlent sont :

- quelle est l'évolution de la variabilité et du changement climatique dans le Sahel, au cours des 20 dernières années?
- comment la population perçoit-elle l'évolution du changement et de la variabilité climatique? Y a-t-il une concordance entre perception locale et évolution du climat ?
- quelles sont les stratégies d'adaptation développées pour y faire face ?
- comment le couvert végétal a-t-il évolué depuis ces 20 dernières années? et quelles sont les causes de cette évolution ?
- comment les populations appréhendent-elles l'évolution des ressources naturelles? Et existe-t-il une concordance entre leurs perceptions et l'analyse spatiale du milieu?

1.2.2 Hypothèses et objectifs de recherche

L'hypothèse principale de cette étude est que les perceptions des populations paysannes de l'évolution de leur milieu concordent avec celle des mesures scientifiques. De là découlent les hypothèses secondaires qui sont :

- il y a une évolution négative des paramètres climatiques dans la zone d'étude ces vingt dernières années ;

- les populations paysannes ont une bonne perception de l'évolution du climat qui correspond avec celle des données météorologiques ;
- diverses stratégies d'adaptation sont développées par les populations pour faire face aux impacts climatiques au Sahel ;
- la tendance générale de l'évolution de la végétation est à la dégradation ;
- les populations locales possèdent des connaissances endogènes significatives qui coïncident avec l'analyse spatiale de la dynamique de leurs terroirs.

L'objectif général de l'étude est de contribuer à une meilleure compréhension de la dynamique des milieux sahéliens en rapport avec la perception paysanne. Les hypothèses précédemment énoncées sont testées à travers les objectifs spécifiques suivants :

- analyser l'évolution du climat des 20 dernières années ;
- évaluer la mesure de la perception du changement et de la variabilité climatique, au cours des deux dernières décennies ;
- analyser les stratégies d'adaptation utilisées par les populations locales pour faire face aux impacts climatiques dans le Sahel ;
- évaluer l'état actuel et la dynamique de la biomasse et de l'occupation des terres ainsi que les causes de la dynamique au cours des deux dernières décennies au Sahel ;
- analyser la perception paysanne de l'évolution des écosystèmes du Sahel à l'échelle locale.

1.2.3 Définition des concepts

Pour faciliter la compréhension de certains termes utilisés dans la présente étude, une définition des concepts utilisés s'impose.

Changement et variabilité climatiques : Plusieurs définitions sont données aux changements climatiques. L'utilisation du terme varie entre le GIEC qui s'y réfère pour tout changement climatique, qu'il soit dû à la variabilité naturelle du climat ou aux activités humaines ; par contre la CCNUCC (1992) l'utilise dans le contexte de causes exclusivement dues à la variabilité naturelle du climat. Il s'agit d'un phénomène décrivant tous changements climatiques qui, avec le temps, modifient la composition de l'atmosphère mondiale en plus de la variabilité naturelle du climat et qui est observé sur des périodes temporelles comparables. C'est également la variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité, persistant pendant une période prolongée (généralement des décennies ou plus).

La variabilité climatique se réfère à la variation naturelle intra et interannuelle du climat (GIEC, 2001a). Elle peut être considérée en termes de changement annuel tels que le début de la saison des pluies, les quantités pluviométriques enregistrées, et les durées de la saison des pluies.

En général, la distinction entre le changement et la variabilité climatique est basée sur une échelle temporelle. La variabilité climatique est considérée comme des variations du système climatique durant de courtes échelles temporelles (mois, années, décennies) ; tandis que le changement climatique est considéré comme des évolutions à long termes des moyennes des variables du climat (généralement 30 années selon l'OMM). Compte tenu de la difficulté de dissocier variabilités et changements climatiques, en particulier dans le contexte africain, les notions de variabilité et changement climatiques seront souvent utilisées dans la présente étude, afin de prendre en compte cette complexité. Dans le cadre de cette recherche, pour

traiter des changements climatiques, les éléments du climat suivants ont été considérés : les précipitations, les températures, les vents, l'humidité et l'évapotranspiration. Ces paramètres climatiques ont été choisis compte tenu de leur importance dans la productivité végétale, en l'occurrence, l'agriculture pluviale.

Impact climatique : On entend par impact climatique, les modifications de l'environnement physique ou des biotes dues à des changements climatiques. Ces derniers exercent des effets nocifs significatifs sur la composition, la résistance ou la productivité des écosystèmes naturels et aménagés, sur le fonctionnement des systèmes socio-économiques ou sur la santé et le bien-être de l'homme (CCNUCC, 1992). Cette définition d'impact climatique semble être restrictive et à connotation négative, alors que les impacts peuvent être aussi bien négatifs que positifs. Dans cette présente étude l'impact serait considéré au sens global.

Sécheresse : La sécheresse est un « phénomène qui se produit lorsque les précipitations sont sensiblement inférieures aux niveaux normaux enregistrés (en considérant une longue période, 30 ans par exemple), et qui provoquent d'importants déséquilibres hydrologiques, néfastes pour les systèmes de production des ressources terrestres » (GIEC, 2001).

C'est aussi l'état normal ou passager de la surface du sol et/ou d'un environnement, correspondant à un manque d'eau, sur une période significativement longue pour qu'elle ait des effets sur la végétation et les animaux.

On distingue quatre types de sécheresse:

- **la sécheresse météorologique** qui est définie comme un manque des précipitations sur une région durant une période donnée. Les précipitations sont communément utilisées pour l'analyse des sécheresses météorologiques.

- **la sécheresse hydrologique** qui est liée à une période de manque de réserves d'eau dans les nappes aquifères, les lacs et les réservoirs.

- **la sécheresse agricole** qui, habituellement, se réfère à une période de baisse ou de manque d'humidité ou d'eau pour les cultures. La demande des cultures en eau dépend des conditions de temps courant, des caractéristiques biologiques et du stade de croissance spécifique des plantes, ainsi que des propriétés biologiques et physiques du sol (Mishra *et al.*, 2010).

- **La sécheresse socio-économique** est associée au manque d'eau des systèmes hydrauliques face aux demandes; ce qui associe les sécheresses à l'approvisionnement et à la demande pour un bien économique (eau) (AMS, 2004)[2].

Dans notre étude, ce sont les sécheresses météorologique et agricole qui sont considérées.

Adaptation au changement climatique : La lutte contre la modification du climat s'organise principalement autour de stratégies d'atténuation et d'adaptation. L'atténuation est l'intervention humaine pour réduire, à la source, les émissions de gaz à effet de serre, ou augmenter le stockage de ces gaz (puits). Dans ce présent travail c'est l'adaptation qui est considérée.

La notion d'adaptation est aussi vieille que le monde. Sa perception varie d'une société à l'autre et dépend des moyens d'existence des populations et du niveau de développement du pays. Elle se réfère à tout ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des vecteurs climatiques présents ou futurs ou à leurs impacts, afin d'atténuer les effets néfastes ou d'exploiter des opportunités bénéfiques (GIEC, 2001; Adger *et al.*, 2003; OSCC, 2010).

[2] Cité par Mishra, 2010.

On distingue plusieurs types d'adaptation ; chaque type dépendant des stratégies et des moyens dont disposent les populations. Les différents types d'adaptation sont synthétisés par Smit *et al.* (2000). L'adaptation, qu'elle soit anticipative ou proactive (prise avant que les impacts initiaux aient lieu), ou réactive (conçue et mise en œuvre en réponse aux impacts initiaux) permet de réduire la vulnérabilité à la variabilité et aux changements climatiques. Selon le dernier rapport du GIEC (2007), à ces deux principaux types d'adaptation, s'ajoute celle planifiée, ou à long terme, résultat d'une décision politique délibérée, basée sur une prise de conscience des changements en cours et à venir. A l'inverse, les réponses adaptatives individuelles ou communautaires, surviennent probablement en réponse réactive aux effets existants (Berrang-Ford *et al.*, 2011).

Les stratégies pour s'adapter à la modification du climat sont liées aux progrès technologiques, aux aménagements institutionnels et aux possibilités de financement, de production et d'échanges d'informations. Pour les pays en développement, qui n'ont qu'un accès limité à ces capacités d'adaptation, le changement du climat est appelé à avoir des impacts sur les écosystèmes, sur le progrès socio-économique et sur la santé, autant d'éléments indispensables à un développement durable. Le défi pour ces pays consistera à élaborer des options d'adaptation (en faisant appel à des pratiques traditionnelles renforcées) des systèmes écologiques et socio-économiques au changement climatique, à intégrer ces options dans leurs politiques de développement durable.

La capacité d'adaptation au changement climatique est par contre, la capacité d'un système, d'une communauté, d'un individu à s'adapter aux effets et aux impacts du changement climatique (y compris la variabilité climatique). Elle dépend essentiellement des ressources économiques sociales et humaines d'une société. Pour notre recherche, l'adaptation se rapporte à des comportements adoptés et techniques développées pour réduire la vulnérabilité et/ou limiter les conséquences des changements climatiques aux fins d'améliorer le bien-être.

Environnement : L'eau, l'atmosphère et le sol ou toute combinaison de l'un ou de l'autre ou, d'une manière générale, le milieu ambiant avec lequel les espèces vivantes entretiennent des relations dynamiques peuvent constituer l'environnement. Le concept de milieu ambiant est une reconnaissance que l'environnement est aussi constitué d'éléments « humains ». Il désigne en effet l'ensemble des objets matériels, des êtres vivants, des ressources et des systèmes physiques, chimiques, biologiques, sociaux, économiques et culturels, où les éléments sont en état constant d'interdépendance les uns par rapport aux autres (Da *et al.*, 2007). L'environnement se réfère donc à une notion globale; il comprend les écosystèmes, les populations humaines et l'ensemble de leurs composantes qui contribuent à la qualité de la vie. Selon ces auteurs, le concept d'environnement peut se subdiviser en trois axes traduisant l'interaction entre l'homme et son milieu:

- **L'environnement physique**: communément appelé le milieu physique, qui est caractérisé par les facteurs abiotiques (climat, sol et eau) et les facteurs biotiques (faune et flore).

- **L'environnement social, économique et culturel** qui est caractérisé par les facteurs anthropiques (société, activités de l'homme).

- **L'environnement politique et juridique** qui est caractérisé par les cadres institutionnels, législatifs et réglementaires.

Ecosystème : L'écosystème est un milieu relativement homogène et stable dans lequel l'ensemble des êtres vivants entretiennent des relations alimentaires et territoriales entre eux-mêmes et avec le milieu (Da *et al.*, 2007). L'écosystème est l'unité de base écologique. Il peut avoir différentes tailles ; exemples: un champ, un cours d'eau, une forêt, une partie d'un pays (on parle alors de biome). C'est au niveau des écosystèmes que s'exercent les actions et

l'influence de l'homme pouvant entraîner des modifications plus ou moins favorables à la vie et l'équilibre du milieu.

Dynamique d'occupation des terres: L'occupation des terres se réfère au type et à l'état de la végétation, au type de sol, des plans d'eau, et des systèmes d'exploitation des terres. En somme, c'est l'ensemble des composantes d'un paysage donné. La dynamique de l'occupation des terres peut se définir comme le remplacement ou la modification d'une unité d'occupation du paysage, à une autre, sur une période donnée.

Biomasse : La biomasse est l'ensemble de la matière organique d'origine végétale ou animale. En écologie, la biomasse végétale est la quantité totale de matière (masse) de toutes les espèces vivantes végétales présentes dans un milieu naturel donné. En télédétection, l'analyse de la dynamique de la biomasse est basée sur un certain nombre de concepts dont la production primaire brute (PPB), qui est la masse totale des composés organiques produits par la photosynthèse (Mbow, 2008a). C'est donc la valeur radiométrique du couvert végétal qui est estimée par les indices de végétation pour l'étude de l'évolution de la biomasse.

Perception : La perception est une manière de comprendre l'espace, miroir de ceux qui le vivent et de ceux qui l'observent. C'est aussi le fait de saisir un événement ou le déroulement d'un phénomène de façon sensorielle ou spirituelle (Hounkannou, 2010).

La perception et les rapports à la nature diffèrent cependant, d'une société humaine à l'autre. Les facteurs déterminant ces rapports peuvent être culturels, techniques ou économiques. Ainsi, les représentations qu'ont les sociétés de leur nature vont favoriser ou au contraire exercer un effet limitant sur les prélèvements opérés.

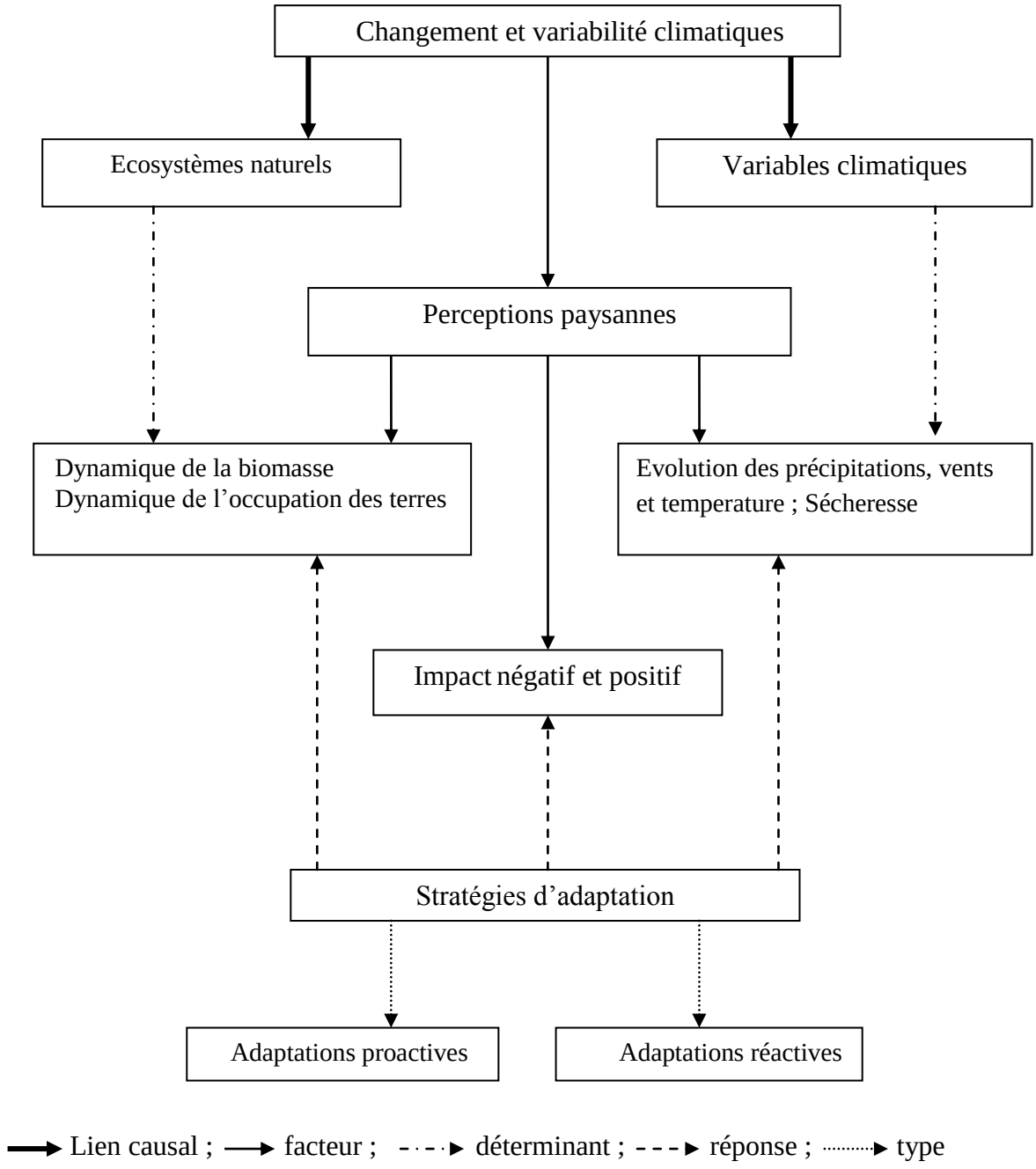
Percevoir la variabilité climatique c'est la saisir par l'esprit. Elle peut être définie comme l'action de saisir, de comprendre, de se représenter ou d'interpréter des phénomènes ou

réalités par les sens et/ou par l'esprit. La perception paysanne du changement climatique s'entend donc comme à la fois la vision et/ou l'interprétation de ce phénomène par les populations (Kabré, 2008).

Les différents concepts définis dans ce chapitre sont représentés dans un cadre conceptuel qui donne une vision synoptique de la démarche utilisée pour l'étude (Figure 1).

Cette section a présenté la justification de la présente recherche ainsi que les hypothèses et objectifs. Les concepts de l'étude sont définis et un cadre conceptuel (relationnel) est élaboré pour montrer comment s'imbriquent ces différents concepts. La démarche retenue pour l'analyse des données est donc une approche globale, systémique qui intègre l'ensemble des éléments physiques, démographiques, économiques et sociaux de la zone d'étude.

Figure 1 : Cadre conceptuel de l'étude



Source : Figure adapté de (Mubaya, 2010)

1.3 APPROHES METHODOLOGIQUES

Cette section du présent chapitre traite de la démarche méthodologique, du choix des sites d'études, des différentes approches utilisées pour analyser les changements de l'évolution des paramètres biophysiques et socio-économiques.

La démarche méthodologique adoptée pour les recherches est intimement liée aux objectifs spécifiques de l'étude. La présentation de celle-ci est structurée en quatre sous sections :

- la première traite de la stratégie de collecte des données et des informations et du choix des sites d'étude ;
- la deuxième concerne l'approche spatiale utilisée pour analyser les changements de l'évolution de la végétation ;
- la troisième sous section est basée sur les méthodes utilisées pour l'analyse des différents paramètres biophysiques tels que le climat, la morpho-pédologie et la végétation ;
- et enfin la quatrième sous section traite des approches sociologiques et du cadre analytique de l'étude.

1.3.1 Démarche de l'étude

1.3.1.1 Stratégie de collecte et d'analyse des données

La stratégie utilisée pour produire les résultats est une combinaison d'approches et de méthodes en fonction des objectifs spécifiques. Elle se compose de quatre grandes phases plus ou moins chronologiques:

- la phase de collecte des informations ou d'acquisition de données sources ;

- la phase de stratification primaire, le choix de sites d'étude plus fines et l'identification des paramètres et variables à analyser ;
- la phase de collecte de données sur les thèmes centraux d'étude que sont l'occupation des terres, l'évolution de la biomasse et la perception locale ;
- la phase du choix des méthodes d'analyse et l'analyse des données quantitatives, qualitatives et spatiales.

Plusieurs approches ont été utilisées pour produire les différents résultats, parmi lesquels, l'approche spatiale, les enquêtes sociologiques.

1.3.1.2 Choix des sites d'étude

Le choix des sites pour la présente étude, a été basé sur des critères majeurs dont principalement les classes d'évolution de NDVI, les occupations majeures des terres (agriculture et élevage) et la densité de la population.

Le NDVI est un important paramètre qui permet de caractériser l'état du couvert végétal et son évolution au cours du temps. Mais, malgré son importance en traitement numérique des images, il reste grossier et plus adapté pour les grands ensembles comme par exemple la stratification régionale, les tendances ou classifications régionales. Il devenait donc indispensable de descendre à l'échelle du terroir afin de pouvoir appréhender les dynamiques complexes à l'échelle locale. Une visite commune de terrain entre les partenaires de l'INERA et de l'UO, du projet LaSyRe, a été réalisée afin d'aider au choix des sites potentiels pour les études fines du projet. Une concertation entre les deux partenaires a conduit à retenir trois sites situés dans le domaine sahélien *stricto sensu*, avec moins de 500 mm de pluviométrie annuelle (Tableau 1).

Tableau 1: Villages d'étude

Nom de villages	Département	Province	Coordonnées géographique UTM (Zone 30)	Tendance d'évolution du NDVI-2000-2009 (Image MODIS)
Dampela	Aribinda	Oudalan	X (Long) : 740682 Y (Lat): 1583877	La couleur bleu indique une augmentation de la biomasse en 2000-2009
Gandafabou Kélwélé	Deou	Oudalan	X (Long) : 749177 Y (Lat): 1633566	La couleur rouge-jaune indique une stabilité de la biomasse en 2000-2009
Kékénéné	Koutougou	Soum	X (Long) : 712815 Y (Lat): 1592483	La couleur rouge indique une diminution critique de la biomasse en 2000-2009

Source : LaSyRe, 2009

1.3.1.3 Variables et paramètres d'analyse de l'étude

Pour permettre de tester les hypothèses émises, des variables ainsi que leurs indicateurs ont été identifiés. Le tableau 2 donne une vision d'ensemble des variables, avec les méthodes, techniques, et outils de collecte et d'analyse des données.

Tableau 2 : Variables et indicateurs de l'étude

Hypothèses	Variables	Indicateurs	Méthodes et techniques de collecte Méthodes de traitement et analyse des données
- Il y a une évolution négative des paramètres climatiques dans la zone d'étude ces 20 dernières années	- Changement et variabilité climatiques des 20 dernières années	- Evolution spatiale des précipitations - Evolution temporelle de la pluviométrie - Evolution des paramètres saisonniers et intra-saisonniers des pluies -Evolution des températures, de la vitesse du vent, de l'humidité et de l'évapotranspiration	- Utilisation des données climatiques de la station de Dori, Gorom-Gorom et Aribinda - Traitement et analyse des données par INSTAT+ et Excel
- les populations paysannes ont une bonne perception de l'évolution du climat qui correspond avec celle des données météorologiques	- Perception locale du changement et variabilité climatique - Perception des causes des changements	- Les indicateurs locaux de changement du climat - Les indicateurs locaux des causes d'évolution	- Enquêtes auprès de populations locales (194 personnes interrogées). - Traitement et Analyse par EPIDATA et SPSS 16.0.
- Diverses stratégies d'adaptation sont développées par les populations pour faire face aux impacts climatiques au Sahel	- Perception paysanne des impacts climatiques -Stratégies d'adaptation	- Les impacts de a variation climatique sur les activités agricoles et pastorales - Les systèmes de production agropastorale - La diversification des activités	- Enquêtes auprès de populations locales (194 personnes interrogées). - Traitement et Analyse par EPIDATA et SPSS 16.0.

Tableau 2 (suite)

Hypothèses	**Variables**	**Indicateurs**	**Méthodes et techniques de collecte** **Méthode de traitement et analyse des données**
- La tendance générale de l'évolution de la végétation est à la dégradation	- Evolution de la biomasse à l'échelle régionale et locale - Causes d'évolution	- variation de l'ICN -variation de l'ICV	- Utilisation des images satellites, SPOT-VGT de 1km×1km et MODIS 250m×250m de résolution - Observations du milieu et levées de points GPS le long des transects - Analyse et élaboration des cartes par ARCGIS 9.3.
	- Dynamique de l'occupation des terres	- Evolution des unités d'occupation de 1990 et 2010	- Utilisation images satellites Landsat TM de 30 x 30 m - Observations du milieu et levées de points GPS le long des transects - Analyse et cartographie par ARCVIEW3.2
- les populations locales possèdent des connaissances endogènes significatives qui coïncident avec l'analyse spatiale de la dynamique de leurs terroirs	- Evolution des systèmes de production - Perception paysanne de l'évolution des ressources naturelles	- Les systèmes agricoles et pastoraux - les indicateurs de l'évolution des ressources naturelles - les indicateurs des causes d'évolution	- Enquêtes auprès de populations locales (194 personnes enquêtés) et 3 focus groups. - Traitement et analyse par EPIDATA et SPSS 16.0.

1.3.2 Approche spatiale : images satellites et cartographie

1.3.2.1 Echelle régionale

Pour évaluer la dynamique de la biomasse et les causes de cette évolution, des images décadaires NDVI de SPOT VEGETATION (VGT) de 1 ×1 km de résolution et des images MODIS de 250 × 250 m de résolution ont été utilisées. Ces données ont été obtenues au Secrétariat permanent du Conseil National pour l'Environnement et le Développement Durable (SP/CONEDD).

La relation entre le NDVI et les précipitations est bien établie en saison d'hivernage dans le domaine sahélien plus précisément en août (Milich *et al.*, 2000; Herrmann *et al.*, 2005; Nicholson *et al.*, 2007; Capecchi *et al.*, 2008; Proud *et al.*, 2011). L'analyse de l'évolution de la biomasse est faite avec l'ICN et celle des causes est faite avec l'ICV. Ces deux indices sont des dérivés du NDVI. La formule de l'ICN est :

$$ICN = (NDVI_{dec} - NDVI_{min}) \times 100 / (NDVI_{max} - NDVI_{min})$$

où $NDVI_{dec}$ est le NDVI de la décade en cours ; $NDVI_{max}$ et $NDVI_{min}$ sont les NDVI minimum et maximum calculés sur l'ensemble de la saison des pluies (juin à septembre) et pour toute la série historique considérée (2001-2010).

L'ICN est un indice qui permet de suivre la croissance de la végétation pendant une période, par exemple la campagne agricole.

L'analyse des causes de l'évolution de la biomasse, surtout climatiques, est faite au moyen de l'ICV. La formule de cet indice est :

$$ICV = (NDVIdec - NDVImin) \times 100 / (NDVImax - NDVImin).$$

où NDVIdec est le NDVI de la décade en cours ; NDVImax et NDVImin sont les NDVI minimum et maximum calculés sur la même décade et pour toute la série historique considérée (2001-2010). L'ICV est l'écart observé entre le NDVI courant et le NDVI minimum relatif à cette décade, rapporté à l'écart maximum jusque-là observé pour la décade considérée.

Les valeurs de ces deux indices varient entre 0 et 100 ; et selon les écologues, une valeur inférieure à 30 (le tiers du maximum) signifie une situation critique.

Les décades du mois d'août ont été retenues pour l'analyse car elles correspondent au moment où l'activité chlorophyllienne est la plus forte dans la zone d'étude. Cette période a été déterminée sur la base du profil de la pluviométrie décadaire de la zone, sur les cinq dernières années. La période retenue pour l'analyse de tendance de l'évolution de la biomasse concerne les cinq dernières années.

Pour les analyses, les valeurs calculées de l'ICN ont été extraites à deux échelles : - le niveau de la région qui couvre les provinces du Soum et de l'Oudalan ; - et le niveau local qui couvre les départements de Déou, Arbinda et Koutougou. Par contre, pour les valeurs calculées de l'ICV, seulement l'échelle régionale a été considérée.

Les calculs de l'ICN et l'ICV ont été réalisés avec le logiciel ARCGIS 9.3.

La vérification des indices a été faite aux échelles régionale et locale. Deux contrôles terrain ont été préalablement effectués en juillet et août 2010 en vu de permettre les comparaisons avec les images. Des points de description ont été relevés au GPS le long des transects. Les images de SPOT VGT et de MODIS ont servi à faire les croisements entre les points relevés sur les images et ceux issus du terrain. La précision de l'analyse des données spatiales est approximativement de 92%.

1.3.2.2 Echelle locale

Les sources de données pour l'analyse numérique à l'échelle locale se composent des scènes Landsat (ligne 195 et colonne 050), couvrant toute la zone d'étude. Les images Landsat de type TM (Thematic Mappers), 30 mètres de résolution, sont acquises à la même période de l'année (20 et 4 novembre, respectivement pour l'année 1990 et 2010), afin de réduire les problèmes liés aux changements phénologiques de la végétation et à la différence d'humidité des sols. Selon Stellmes *et al.* (2010), la résolution de 30 m peut permettre de révéler des changements à l'échelle fine (terroir). Les images sont issues du Laboratoire d'enseignement et de recherche en géomatique de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), partenaire dans le cadre du projet LaSyRe. Ces images ont été géoréférencées (projection UTM zone 30 avec ellipsoïde de référence WGS84) avec des corrections radiométriques. Pour mieux appréhender la dynamique du couvert végétal et de l'occupation des terres, des données numériques de la base nationale de données topographiques (BNDT) ont aussi été utilisées. Cependant, la superposition de cette base avec les résultats de l'interprétation des images montre des légers décalages, en particulier les couches du réseau hydrographique.

Une composition colorée (743_RVB) (Figure 2) a été utilisée comme support des classifications et pour la vérification de terrain. Les images ont été traitées à l'aide du logiciel de télédétection ENVI 4.5. Une classification supervisée a été utilisée pour déterminer les classes d'occupation du sol en 1990 et 2010. L'image de 1990 a été recalée par rapport à celle de 2010 prise comme référence. L'algorithme du « Maximum de Vraisemblance » (Maximum Likehood, en anglais) pour la classification, est empruntée de Lu *et al.* (2004). Cet algorithme permet de faire la correspondance entre des classes spectralement (radiométriquement) homogènes, et des classes thématiques issues du terrain (parcelles de référence ou d'entrainement). Les zones d'entraînement, ont une taille suffisante, et sont représentatives

des unités thématiques. Au total plus de soixante dix (70) zones d'entraînement ont été utilisées pour la classification. La vérification des résultats de la classification a été réalisée sur le terrain. La qualité des classifications a été évaluée par la matrice de confusion. Celle-ci se présente sous forme d'un tableau à double entrée indiquant :

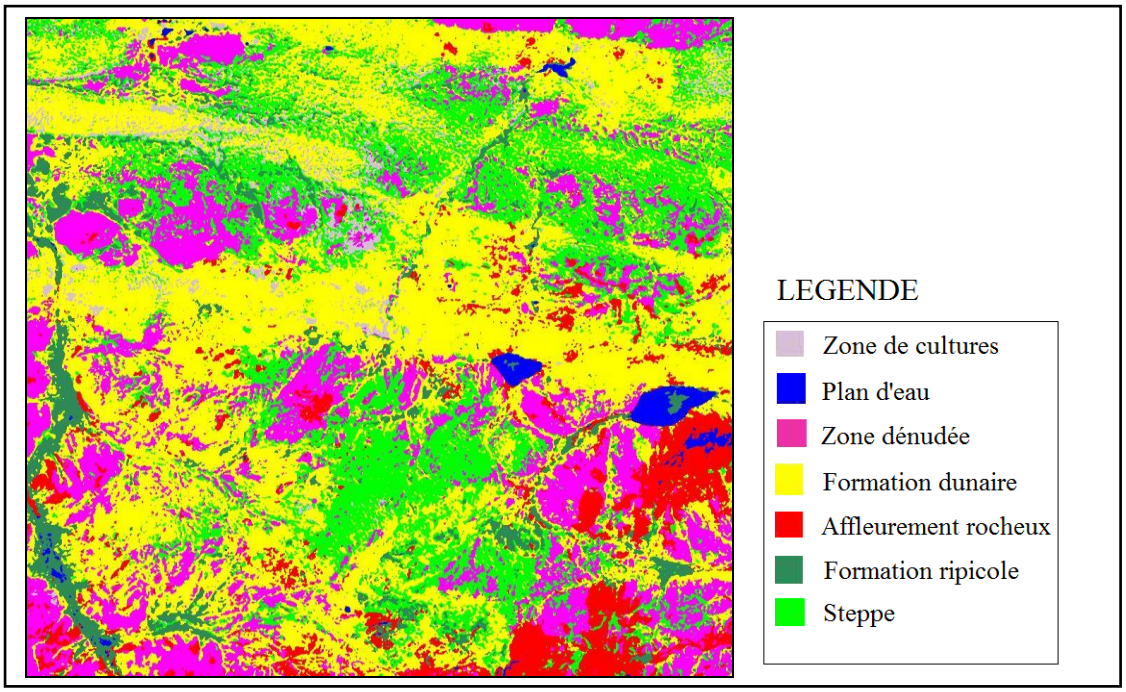
a) la précision globale qui est la proportion des pixels bien classés calculée en pourcentage,

b) le coefficient Kappa qui est le rapport entre le nombre de pixels bien classés et le total des pixels sondés), et

c) les erreurs d'omission, et de commission.

Le logiciel ARCVIEW 3.2. a été utilisé pour vectoriser les résultats de la classification afin de permettre une amélioration de la mise en forme.

Figure 2 : Image satellite en composition colorée 7/4/3 (RVB) autour de Gandéfabou



Source : Landsat TM 2010 Scène 195/050

L'analyse des conversions dans le temps des unités d'occupation a été réalisée par l'utilisation de l'approche de la matrice de transition. La matrice de transition permet de décrire de manière condensée, sous forme de matrice carrée, les changements et les affectations d'occupation des terres au cours de l'intervalle de temps considéré (Schlaepfer, 2003). Les cellules de la matrice contiennent la valeur d'une aire ayant passé d'une classe initiale i à une classe finale j pendant la période considérée (t0, date initiale à t1, date finale). Les valeurs des colonnes représentent les proportions des aires occupées dans le paysage par chaque classe d'occupation des terres au temps j et celles des lignes, au temps initial i (Tableau 3). Les colonnes de la matrice indiquent les états d'occupation des terres en 2010 et les lignes correspondent aux états d'occupation en 1990.

Tableau 3 : Exemple de matrice de transition entre les dates t0 et t1

		Unité d'occupation des terres j au temps t1			
		Unité 1(j=1)	Unité 2(j=2)	Unité 3(j=3)	Somme Eit0 des lignes
Unité d'occupation des terres i au temps t0	Unité 1(i=1)	a(1,1)	a(1,2)	a(1,3)	E1t0 = ∑ a(1,j)
	Unité 2(i=2)	a(2,1)	a(2,2)	a(2,3)	E2t0 = ∑ a(2,j)
	Unité 3(i=3)	a(3,1)	a(3,2)	a(3,3)	E3t0 = ∑ a(3,j)
	Somme Ejt1 des colonnes	E1t1=∑ a(i,1)	E2t1=∑ a(i,2)	E3t1=∑ a(i,3)	∑∑ a(i,j)

Source : Schlaepfer, 2003

L'analyse des données est aussi faite à travers le calcul des proportions de chaque unité d'occupation des terres en fonction de la superficie totale de chaque terroir villageois. La variation globale est le ratio de la différence entre les proportions d'occupation d'une année donnée à l'année initiale. Le taux de conversion annuel des champs est le ratio de la différence entre les proportions d'occupation d'une année donnée à l'année initiale divisé par l'intervalle du nombre d'années.

1.3.3 Approche d'étude des paramètres biophysiques

1.3.3.1 Données climatiques

Dans l'objectif de caractériser le changement et la variabilité climatique de la zone d'étude, les paramètres climatiques à savoir la pluviométrie, les températures, les vents, l'humidité et l'évapotranspiration (ETP), des pas de temps (annuel, mensuel et journalier) ont été collectés à la direction météorologie nationale (DMN). Les données climatiques collectées que sont les statistiques des températures, des vents, d'humidité et de l'évapotranspiration, sont celles de la station synoptique de Dori qui est la référence de toute la région du Sahel du Burkina Faso. Les données pluviométriques sont celles de la station météorologique de Gorom-Gorom et de la station agro-météorologique d'Aribinda. Ces deux stations ont été choisies à cause de leur proximité aux sites d'étude. Le village de Dampela et Kékénéné sont respectivement à 14 km et 35 km d'Aribinda. Le village de Gandéfabou Kelwélé est à 60 km à vol d'oiseau de Gorom-Gorom.

Deux cartes de variabilité spatiale de la pluviométrie, une avec des tranches de 30 ans (1930 à 2010) et l'autre de 10 ans (1950 à 2010) ont été aussi collectées à la DMN.

Pour mettre en évidence le changement climatique, une longue série pluviométrique annuelle depuis la création de la station de Gorom-Gorom (1955) et Aribinda (1953) a été considérée. Cependant la série retenue couvre une période de 55 années, qui ne comporte pas de données manquantes. Cette série a été également utilisée pour la détermination du régime pluviométrique.

Pour la caractérisation et l'analyse de l'évolution annuelle des températures, des vents, de l'humidité et de l'ETP, une série de 40 ans a été retenue en dépit de la norme de 30 ans imposée par l'organisation de la météorologie mondiale (OMM). Le choix est opéré dans le

souci de prendre en compte l'évolution de ces paramètres à partir de la grande sécheresse des années 1970 dont se souviennent généralement les populations locales. L'étude de la variabilité interannuelle de la pluviométrie est cependant basée sur une période de 20 ans conformément à l'objectif de ce présent travail et aussi parce que le regain pluviométrique dans la littérature a commencé à partir de 1990 au Sahel.

Des données décadaires pluviométriques et de l'ETP ont été utilisées à travers la courbe de Franquin et Cochème (Cochème *et al.*, 1967), pour déterminer les périodes utiles aux cultures et analyser les conséquences d'un retard ou d'une année des pluies, d'un allongement de la période pluvieuse ou encore d'une irrégularité dans le temps sur la production. Cette courbe permet de diviser la saison en quatre parties qui sont : les faux départs de la saison, la période pré-humide (période de démarrage des activités agricoles), la période humide (utile aux végétaux) et la période post humide qui correspond à la fin des activités agricoles.

La lecture des différentes périodes est faite par la position des valeurs des moyennes pluviométriques décadaires par rapport à celles de l'ETP et de l'ETP/2. L'interprétation permet de déterminer :

- le faux départ correspond à des moyennes décadaires de pluviométrie inférieures à celles de l'ETP/2 ;
- la période pré-humide correspond à des moyennes décadaires de la pluviométrie comprises entre celles de l'ETP et de l'ETP/2 ;
- la période humide correspond à des moyennes décadaires de quantité de pluies supérieures à celles de l'ETP ;
- Enfin, la période est dite post-humide lorsque la courbe des moyennes décadaires de la pluviométrie est comprise entre les valeurs de l'ETP et l'ETP/2.

Les données journalières ont été utilisées pour l'étude de la variabilité des paramètres saisonniers et intra-saisonniers de l'hivernage, qui a surtout porté sur les paramètres pluviométriques que sont le début, la longueur, et la fin de la saison ; et les séquences sèches maximales ainsi que le nombre de jours secs du mois d'août considéré comme le mois le plus pluvieux au Sahel.

La détermination de la date du début, de la fin et de la longueur de la saison ainsi que les séquences sèches maximales est basée sur un certain nombre de critères définis par le centre régional de formation et d'application en agro-météorologie et hydrologie opérationnelle (AGRHYMET) des pays sahéliens de l'Afrique de l'Ouest (Sarr, 2006).

Le début de la saison des pluies est atteint quand au moins une quantité d'eau de pluie de 20 mm est recueillie en 3 jours consécutifs à partir du 1er mai sans séquence sèche supérieure à 10 jours. Une séquence sèche est une période de temps constituée de jours consécutifs sans pluie.

La fin de la saison des pluies survient à partir de 1er septembre. Le critère pour la fin de la saison des pluies est fondé sur le bilan hydrique. On considère par exemple qu'à partir du 1er septembre (jour julien n° 245) pour le domaine sahélien, lorsque le bilan hydrique (la somme des apports et des pertes) est inférieur ou égal à 0,05, l'hivernage est terminé. Pour le bilan hydrique, une capacité de rétention maximale en eau du sol doit être considérée (ex. 80 mm/m^2 de sol) et des pertes en eau par évaporation (ou grosso modo par évapotranspiration), on peut fixer une valeur de 5 mm/jour, pour le cas des stations soudano sahéliennes au cours du mois de septembre (Sarr, 2006).

La longueur de la saison est la différence en jours entre la date de la fin de la saison et celle du début de la saison. La probabilité d'avoir 5, 7 ou 10 jours de séquences sèches dans les 30 jours du mois de juillet et août est aussi déterminée.

Le logiciel Instat+ (version 2.5) a été utilisé pour déterminer les différents paramètres saisonniers (les dates de début, de fin et de la longueur de la saison des pluies, ainsi que la séquence sèche maximale). Il a aussi permis de réaliser certains graphiques représentant des données pluviométriques (exemple de la figure 27b). Le traitement des données de température, de vent, d'humidité et d'ETP a été fait avec le logiciel Microsoft office Excel (version 2007).

L'analyse de l'évolution de la pluviométrie a été faite par le calcul de l'indice standardisé des précipitations ou Standardized Precipitation Index (SPI) (Bergaoui *et al.*, 2001; Diallo *et al.*, 2011). Cet indice, utilisé pour quantifier les déficits de précipitations à différentes échelles temporelles, est un indicateur important pour suivre des variations de la croissance de la végétation.

Sa formule est la suivante :

SPI =Xi – Xm /Si, où :

– Xi est le cumul des pluies pour une année i ;

– Xm et Si, sont respectivement la moyenne et l'écart type des pluies annuelles observées pour la série concernée. Le calcul de cet indice permet de déterminer le degré d'humidité ou de sécheresse du milieu. Lorsque l'indice SPI > 2, on a une humidité extrême ; pour 1 < SPI < 2, on parle d'humidité forte ; pour 0 < SPI < 1, on a une humidité modérée ; pour -1 < SPI < 0, on a une sécheresse modérée ; si -2 < SPI < -1, on a une sécheresse forte ; si SPI < -2, la sécheresse est qualifiée d'extrême.

L'analyse des différents paramètres climatiques a été faite par des régressions linéaires simples qui permettent de détecter les tendances et les écarts à la moyenne.

1.3.3.2 Observations directes de terrain

Les travaux de terrain ont été organisés le long des transects. Les informations relevées ont porté sur des observations directes du milieu naturel à savoir :

- le couvert végétal (indicateurs de pressions anthropique et animale)
- la géomorphologie (sommet, versant, bas-fond, plaine, dunes, placages sableux, indicateurs d'érosion éolienne et hydrique),
- les états de surface du sol, la texture du sol, la présence de blocs de cuirasse, de gravillons et d'autres marques d'activités humaines (champs, traces de piétinements d'animaux).

Les transects ont été choisis à l'aide des images satellites, de sorte à couvrir toutes les unités d'occupation des terres. Des coordonnées géographiques des différents paramètres observés ont été relevées à laide d'un GPS.

Toutes ces informations ont été collectées dans le souci d'améliorer l'interprétation des images satellites, et de décrire les activités anthropiques.

1.3.4 Méthodologie et approche d'étude sociologique

1.3.4.1 Méthodologie de recherche

La méthodologie de recherche quantitative est la base de cette étude. L'approche qualitative a aussi été utilisée. Ces deux approches sont complémentaires en ce sens qu'elles permettent de répondre à différentes questions spécifiques dans une zone donnée. L'étude est basée sur la

perception des populations locales de l'évolution des écosystèmes, du changement et variabilité climatique, des impacts et stratégies d'adaptation. La recherche se situe de ce fait dans un contexte socio culturel et requiert l'application de plusieurs méthodes, qui inter agissent entre elles. L'approche qualitative offre donc la possibilité, non seulement de comparer et valider les données quantitatives d'ordre physique et humain, mais permet aussi de mieux comprendre ces données (Mubaya, 2010).

La stratégie de recherche part donc « d'étude de cas ». L'étude de cas est une sorte de recherche empirique détaillée, dans un contexte géographique spécifique, qui permet de comprendre la dynamique du changement climatique et de l'environnement.

1.3.4.2 Approche d'étude sociologique

L'étude sociologique vise à appréhender la perception paysanne de l'évolution des écosystèmes, des systèmes de production, des causes de l'évolution d'une part, et d'autre part à analyser les changements et variabilités climatiques, leurs impacts ainsi que les stratégies d'adaptation développées par les populations locales, au cours des 20 dernières années. Pour cela, des enquêtes, avec des interviews individuels semi structurés, des focus groups et des entretiens avec des autorités locales dans les trois villages sites (Kékénéné, Dampela et Gandéfabou Kelwélé), ont été réalisés en mars et juillet 2011.

Les trois villages ont été sélectionnés sur la base d'une stratification de l'évolution de la biomasse (NDVI) de la période 1999-2010. Ainsi, Kékénéné et Gandéfabou Kelwélé sont dans la zone à tendance régressive du couvert végétal et Dampela dans la zone à tendance progressive du recouvrement végétal**.**

Le choix des interviewés a été fait par observation indirecte sur la base des entretiens avec les populations. Les critères considérés sont la durée de résidence d'au moins 20 ans et l'âge (au moins 30 ans).

Pour les entretiens individuels, le ménage a été sélectionné comme unité d'analyse et le chef de ménage a été choisi pour l'interview. Trois focus groups composés de dix personnes, chacun, sont aussi réalisés dans la même période avec les populations des trois villages. Des entretiens ont également été menés auprès des représentants locaux à savoir les délégués des trois villages d'étude pour obtenir des informations complémentaires.

Les entretiens individuels ou les focus groups ont été facilités par l'aide, des interprètes parlant *fulcé* et *tamatchek* (langues locales). Ces interprètes sont des agents de l'agriculture et de l'élevage et donc des personnes clés dans la traduction des termes techniques agricoles et pastoraux. Les noms des espèces ligneuses ont été notés dans les langues locales et la traduction est faite à la direction départementale de l'environnement et du cadre de vie d'Aribinda dans la province du Soum.

Les questions posées ont porté sur la perception de l'évolution des écosystèmes en général et du couvert végétal en particulier, des systèmes de production, des causes d'évolution des écosystèmes, sur la perception du changement et variabilité climatique et sur les impacts climatiques ainsi que les stratégies d'adaptation au cours des 20 dernières années.

Le traitement des données à savoir, la saisie et le dépouillement, est fait avec le logiciel Epidata. L'analyse des données, quant à elle, a porté sur des statistiques descriptives à l'aide du logiciel SPSS 16.0, (Copyright SPSS pour Windows, diffusé en 2007, Chicago : SPSS Inc.).

CHAPITRE 2 : CADRE GEOGRAPHIQUE DE L'ETUDE

Le deuxième chapitre de l'étude est consacré à la présentation du milieu physique et humain de la zone d'étude, ainsi que les caractéristiques des ménages enquêtés et de leurs activités de production.

L'objectif dans ce chapitre est de caractériser le système de production dans les trois villages sites et les interactions entre les différents paramètres qui régissent ce système dans le contexte de la variabilité climatique; ce qui permettra de discuter de l'impact que ces systèmes pourraient avoir sur la dynamique de la végétation, de l'occupation des terres, sur les populations locales (éleveurs surtout) et la gestion de l'espace.

Les systèmes de production constituent « l'ensemble des productions (végétales et animales) et des facteurs de production (terre, capital, travail) que le producteur gère de manière à satisfaire ses objectifs socio-économiques et culturels au niveau de son exploitation » (Tourte 1978)[3]. Il s'agit de l'ensemble des combinaisons des techniques et des facteurs de production dans l'exploitation agricole ou animale. La caractérisation des systèmes de production consiste à mettre en évidence comment les exploitants associent plusieurs activités et techniques agricoles dans leurs exploitations, en fonction des conditions écologiques (Mbaye, 2007).

Ce chapitre comporte trois sections :

- la première porte sur la situation géographique, et la description de l'environnement biophysique ;
- la deuxième section concerne les déterminants socio-économiques de la zone d'étude ;

[3] Cité par Mbaye, 2007.

- et la troisième section montre les caractéristiques des systèmes de production agricole et pastorale de la zone.

2.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE ET CARACTERISTIQUES BIOPHYSIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

2.1.1 Situation géographique de la zone d'étude

2.1.1.1 Notion du Sahel

Le terme « Sahel » qui s'apparente à désertification, dérive du mot arabe « Sahil » qui signifie côte ou bordure et désigne les rivages du désert (Courel, 1984)[4]. C'est une région située au sud du Sahara qui assure la transition entre l'Afrique désertique et l'Afrique humide.

Plusieurs définitions sont attribuées à cette région d'Afrique en fonction des objectifs poursuivis :

- le Sahel politique est un domaine transversal qui couvre surtout les pays du CILSS (Tchad, Niger, Mali, Burkina Faso, Mauritanie, Sénégal, Gambie, Guinée Bissau et Cap Vert). Il est défini par son climat tropical aride à semi-aride, contrôlé par la « mousson » du golfe de Guinée et l'harmattan saharien (Hiernaux *et al.*, 2006). Selon ces auteurs, les précipitations vont de 150 mm au nord à 600 mm au sud. Les principales formations végétales sont la savane et la steppe. La population sahélienne, à majorité agropastorale, est estimée à 50 millions d'habitants et connaît une forte croissance démographique, de l'ordre de 3,1 % (Nyong *et al.*, 2007).
- la ceinture sahélienne, sur le plan géographique, recouvre entièrement ou en partie les pays suivants : le Sénégal, le sud de la Mauritanie, le Mali, l'extrême sud de l' Algérie, le nord du Burkina Faso, le sud du Niger, l'extrême nord du Nigeria, le centre du Tchad, le

[4] Cité par Niang, 2006.

centre du Soudan (notamment le Darfour et le Kordofan), le Cap-Vert. On y ajoute parfois l'Éthiopie, l'Érythrée, Djibouti, le nord du Nigeria et du Cameroun, la Somalie et le Kenya, (Palé, 2012).

- le Sahel des nomades qui traverse Djibouti, l'Ethiopie, le Soudan, le Tchad, le Niger, le Mali, le Burkina Faso, la Mauritanie et le Sénégal. Ce domaine, caractérisé par une faible densité de sédentaires, notamment les agro-pasteurs (2 hbts/km^2), présente une superficie de 1 065 471 km^2 et une pluviométrie moyenne annuelle de l'ordre de 150 à 300 mm;

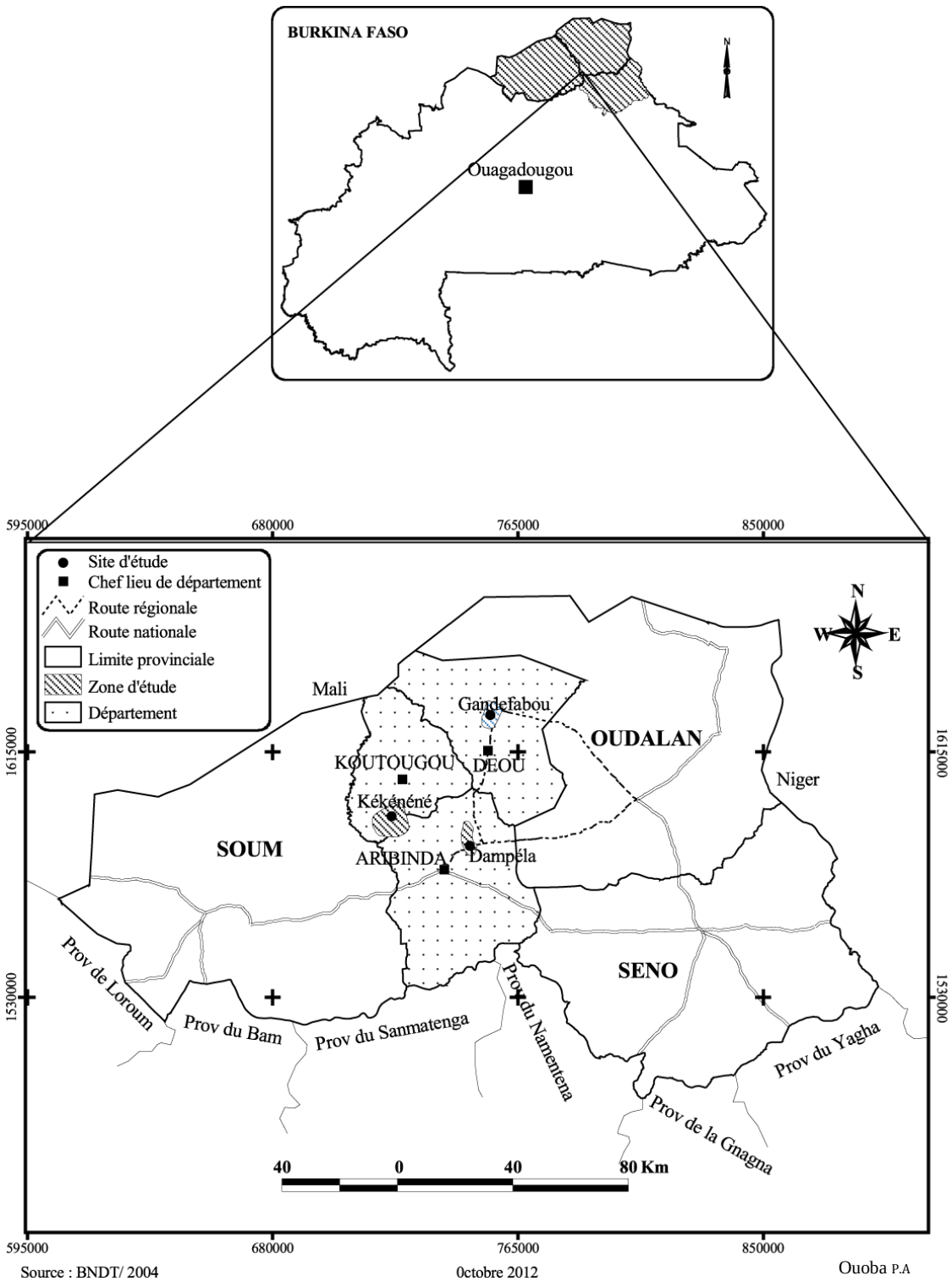
- le Sahel agro-écologique est caractérisé par des paramètres biophysiques, socio-économiques et agropastoraux spécifiques; le climat est de type semi-aride avec une pluviométrie moyenne variant de 200 à 600 mm/an. En Afrique de l'Ouest, ce domaine couvre une bande d'orientation ouest-est traversant le Sénégal, le Mali, le Burkina Faso, le Niger, le Nigéria, le Tchad, le Soudan, l'Ethiopie et Djibouti. Sa superficie totale est environ de 1 603 626 km^2 (Niang, 2006).

- le Sahel climatique, découpé selon les méridiens dont trois régions se distinguent: le Sahel de l'Est (correspondant à la partie tchadienne et l'est du Niger) avec des conditions plus pluvieuses, le Sahel de l'Ouest (correspondant au domaine regroupant le Sénégal et la partie ouest du Mali) caractérisé par un maintien des conditions sèches et le Sahel du centre (centre-est du Mali et centre-ouest du Niger, où figure le Burkina Faso) situé entre 11°W et 15°E où les conditions pluviométriques ne sont ni bonnes ni mauvaises (Ali *et al.*, 2009).

2.1.1.2 Situation géographique des sites d'étude

L'étude a été menée dans trois villages de la région du Sahel, au nord du Burkina Faso (Figure 3). Le village de Kékénéné fait partie du département de Koutougou et le terroir de Dampela est dans le département d'Aribinda. Les deux départements à leur tour se situent dans la province du Soum. Le village de Gandéfabou Kelwélé relève du département de Deou, situé dans la province de l'Oudalan. Les deux provinces s'étendent entre les parallèles 13°44' et 15°05' de latitude nord et entre les méridiens 2°07' longitude ouest et 00°12' est.

Figure 3 : Localisation des trois villages sites



Source : BNDT/ 2004 0ctobre 2012 Ouoba P.A

2.1.2 Caractéristiques biophysiques de la zone d'étude

Les trois villages sites sont situés dans le secteur phytogéographique sahélien (Fontès *et al.*, 1995). La végétation de type steppe, caractérisée par un tapis herbacé discontinu et de strate arbustive et arborée clairsemée, est décrite en fonction des unités topographiques et géomorphologiques.

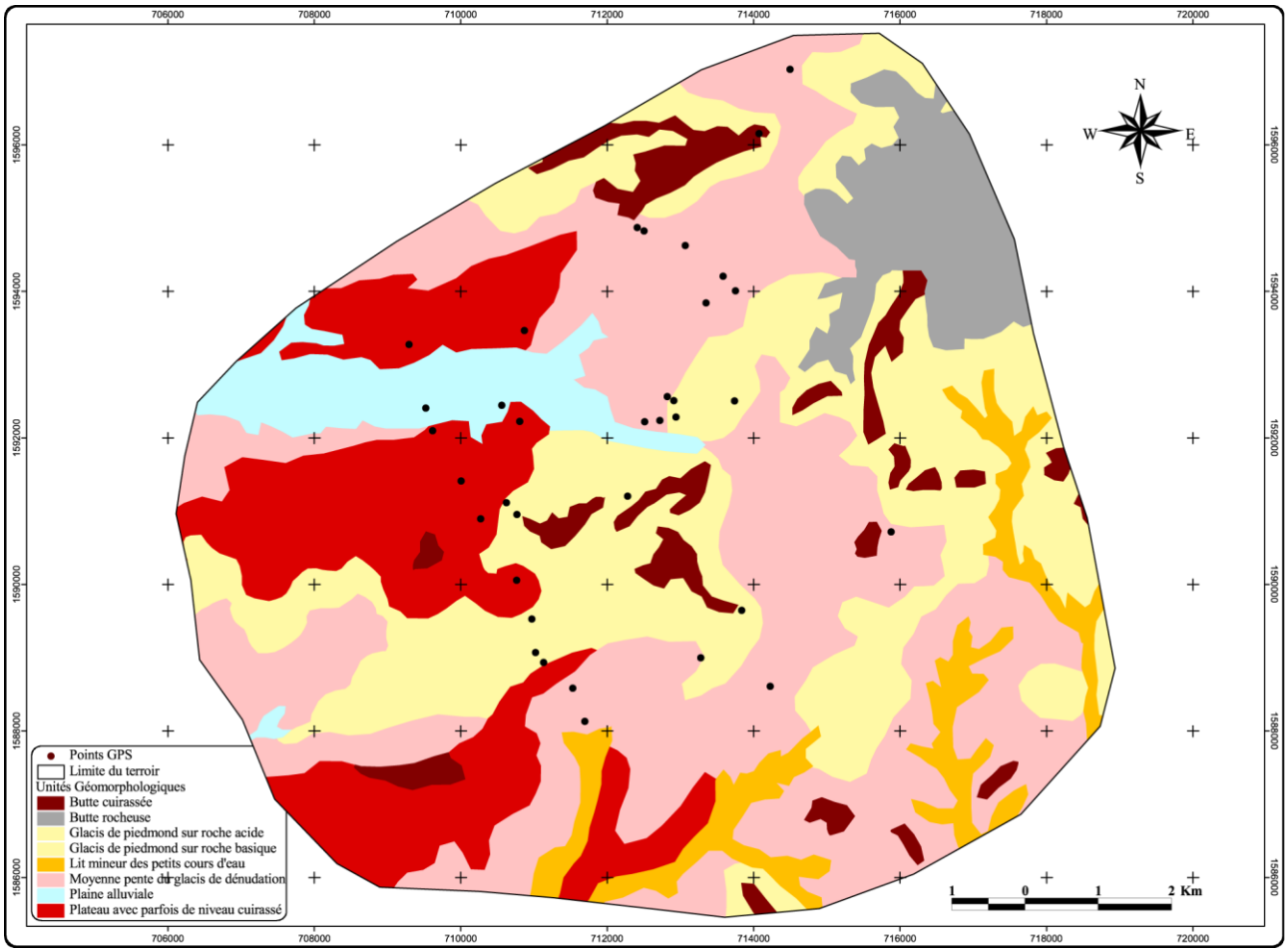
Le paysage des trois villages est constitué d'une diversité d'unités :

- dans le village de Kékénéné, l'organisation du paysage va des buttes cuirassées et massifs granitiques aux bas-fonds et talwegs, en passant par de vastes glacis cuirassés par endroits (Figure 4).

- le terroir de Dampela est surtout situé sur un vaste glacis à recouvrement sableux par endroits. Le village est centré sur un erg ancien. Le milieu physique comporte également des buttes et collines cuirassées et rocheuses, et de vastes bas-fonds (Annexe 1a).

- le terroir de Gandéfabou Kelwélé est établi sur un vaste glacis, traversé d'ouest en est par un cordon dunaire et du nord au sud par un affluent du cours d'eau, le Béli. Quelques élévations (environ 5%) existent au nord-ouest et sud-ouest du village. Le paysage est organisé suivant des unités morphologiques ou topographiques allant du système dunaire et collines cuirassées, en passant par les glacis et se terminant dans de grands bas-fonds (Annexe 1b).

Figure 4 : Esquisse géomorphologique de Kékénéné



Source : BUNASOLS, données terrain, 2011. *Ouoba P. A*

2.1.2.1 Organisation du paysage de Dampela

Sur les lithosols cuirassés des sommets et flancs des buttes et massifs, se développe une formation arbustive à *Balanites aegyptiaca* et *Acacia raddianna*. Le tapis herbacé discontinu se compose surtout d'*Aristida adscensionis* et de *Schœnefeldia gracilis.* Les collines rocheuses sont recouvertes principalement de *Schœnefeldia gracilis* et de l'arbuste G*uiera senegalensis.* Les lithosols sont sans intérêt agronomique.

Les glacis occupent plus de 90% de la superficie du terroir. Ces vastes glacis situés au centre du village, sont recouverts par les sols dominants, à texture limono sableuse, sont les sols

bruns subarides modaux, les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés à pseudogley (Annexe 1c). Sur ces sols se développe généralement une strate arbustive. Cette formation arbustive est dominée par les espèces telles que *Balanites aegyptiaca, Acacia raddianna, Piliostigma thonningii et Combretum glutinosum.* Le tapis herbacé est surtout composé de *Cenchrus biflorus, Eragrostis spp, Schœnefeldia gracilis, et Andropogon gayanus.* Les sols bruns subarides modaux ont une fertilité et une aptitude moyenne pour la culture du mil et du niébé. Les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés à pseudogley ont une faible fertilité avec une aptitude marginale pour la culture du mil et du niébé. Sur l'autre partie du glacis située au nord et au sud du village se développent les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés indurés profonds, recouverts par endroits, par des placages sableux supportant une végétation arbustive éparse et herbeuse dense. Ces sols sont compacts et ne permettent pas une infiltration de l'eau de pluie (Niang, 2006). Les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés indurés profonds ont une faible fertilité avec une aptitude marginale pour la culture du mil. Il y a également des sols peu évolués d'apport colluvial modaux sur les glacis.

Les plaines alluviales (zones inondables) et bas-fonds, composés de sols hydromorphes à pseudogley de surface, à texture argilo-limoneuse sont colonisés par *Combretum micranthum, Guiera senegalensis, Mitragyna inermis, Piliostigma thonningii, Combretum glutinosum,* et *Anogeissus leiocarpus.* Le tapis herbacé est surtout composé de *Cassia tora* et de *Setaria spp.* Les sols hydromorphes à pseudogley de surface ont une fertilité élevée avec une aptitude marginale pour la culture du sorgho et nulle pour la culture du mil. Ces sols sont pourtant occupés par les cultures du sorgho dans le village.

Sur l'erg ancien situé au centre est du village, se développe sur les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés modaux, à texture sableuse, un tapis herbacé constitué de *Cenchrus biflorus, Schœnefeldia gracilis*, *Andropogon gayanus* et *Eragrosis spp*. L'erg ancien est piqueté

d'arbustes tels, *Balanites aegyptiaca, Combretum glutinosum, Piliostigma thonningii et Guiera senegalensis.* Les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés modaux ont une fertilité faible avec une aptitude moyenne pour la culture du mil et du niébé (Annexe 1c). Sur ces sols marginaux se développe une activité agricole intense liée à la bonne disponibilité hydrique due à la forte infiltration (Kumar *et al.*, 2002; Rajot *et al.*, 2009).

2.1.2.2 Organisation du paysage de Kékénéné

Les lithosols cuirassés des sommets et des versants des buttes et massifs sont colonisés par une formation arbustive à *Acacia seyal* et *Acacia raddianna*. Le tapis herbacé discontinu est principalement composé de *Schœnefeldia gracilis,* associé à quelques espèces lianescentes telles que *Leptadenia hastata.* Les collines rocheuses sont surtout recouvertes d'arbustes tels que *Combretum micranthum* et *Balanites aegyptiaca* et des herbacées qui sont *Schœnefeldia gracilis* et *Aristida spp.* Les lithosols sont sans intérêt agronomique.

Le terroir de Kékénéné est établi sur environ 70 % de glacis. Ces vastes glacis sont recouverts de plusieurs types de sols supportant une végétation diversifiée. Les sols bruns subarides modaux à texture sablo-limoneuse et parfois à recouvrement gravillonnaire, sont les plus dominants (40%). Ces sols sont recouverts d'une formation arbustive composée de *Combretum glutinosum* et de *Balanites aegyptiaca.* Le tapis herbacé est surtout constitué de *Schœnefeldia gracilis, Eragrosis spp.* Les sols bruns subarides modaux, situés surtout au nord du village, ont une fertilité et une aptitude moyenne pour la culture du mil et du niébé (Annexe 1d). L'activité agricole se développe principalement sur ces sols. Les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés indurés profonds, répandus dans tout le village, supportent une strate arbustive à *Balanites aegyptiaca* avec un tapis herbacé dominé par *Schœnefeldia gracilis.* Ces sols, situés au sud du village, sont généralement compacts et ne permettent pas une infiltration de l'eau de pluie. Il n'y a pratiquement pas de cultures sur ces sols. Les sols

peu évolués d'apport colluvial, modaux sont aussi répandus dans le village. Sur ces sols se développent *Balanites aegyptiaca* et *Acacia raddianna* avec les herbacés tels que *Cenchrus biflorus, Schœnefeldia gracilis, Aristida spp* et *Cetaria spp.* Ces sols ont une aptitude marginale pour la culture du mil et du niébé et ne supportent quasiment pas de cultures.

Les plaines alluviales (zones inondables) et bas-fonds sont recouverts de sols hydromorphes à pseudogley de surface à texture argilo-limoneuse supportant une formation végétale de *Combretum micranthum, Anogeisus leiocarpus et Combretum glutinosum.* Le tapis herbacé est surtout composé de *Cassia tora* et de *Schœnefeldia gracilis.* Les sols hydromorphes à pseudogley de surface ont une fertilité élevée avec une aptitude marginale pour la culture du sorgho et nulle pour la culture du mil (Annexe 1d). Ces sols sont généralement occupés par les cultures du sorgho dans le village.

2.1.2.3 Organisation du paysage de Gandéfabou Kelwélé

Le paysage de ce village est composé principalement de trois unités géomorphologiques. La première unité correspond aux formations des dunes (20% environ en superficie). Le support édaphique est constitué de sols à texture sableuse supportant les herbacées caractéristiques telles que *Cenchrus biflorus, Schœnefeldia gracilis*, et les espèces ligneuses dont la plus dominante est *Combretum glutinosum,* suivi de *Balanites aegyptiaca*. Il y a peu de champs sur la dune.

La seconde unité est le glacis qui occupe la majeure partie de la superficie du village (60 %). Les sols dominants sont les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés indurés profonds et ceux modaux. Ces sols ont une faible fertilité avec une aptitude marginale pour la culture du mil. Les glacis supportent une formation arbustive à *Acacia raddiana, Acacia Seyal, Balanites aegyptiaca et Pterocarpus lucens.* Les espèces herbacées typiques qui constituent le tapis discontinu sont *Aristida adscensionis, Cenchrus biflorus*, *Schœnefeldia gracilis*. Sur le glacis

de dénudation à pente inférieure ou à placage sableux, se développent les cultures du mil (Annexe 1e).

La dernière unité est constituée de bas-fonds et d'une mare qui occupent environ 15 % de la superficie. Leur fort potentiel végétatif est supporté par les sols bruns subarides vertiques et les sols hydromorphes à pseudogley de surface, lourds, riches en éléments nutritifs apportés par le ruissellement, mais aussi se caractérisant par un bilan hydrique plus favorable. Ces sols à texture argilo-limoneuse ont une fertilité élevée avec une aptitude marginale pour les cultures vivrières (Annexe 1e). Sur ces sols se développe une formation arbustive à *Anogeissus leiocarpus* et *Acacia seyal*. Le tapis herbacé est surtout formé de *Cenchrus biflorus*.

2.2 CARACTERISTIQUES SOCIO-ECONOMIQUES DE LA ZONE D'ETUDE ET DES MENAGES ENQUETES

L'étude de la structure démographique et des caractéristiques socio-économiques et politiques, constitue un élément primordial dans la compréhension de la dynamique des espaces.

2.2.1 Données démographiques

L'analyse de l'évolution de la population des sites d'étude concerne la période de 1985-2006. Une augmentation de la population est observée dans les villages sites durant cette période. Selon l'INSD (2009), l'effectif de la population en 2006 de Kékénéné est de 1 665 habitants ; celui de Dampela est de 1 426 habitants, contre 1 178 habitants pour Gandéfabou Kelwélé (Tableau 4). L'effectif de la population de Gandéfabou Kelwélé et de Gandéfabou Guelgobé en 2006 était de 2 097 habitants ; cet effectif est indiqué à cause du regroupement fait des deux villages lors des recensements réalisés en 1985 et 1996.

Les densités de la population sont très différentes entre les villages. En 2006, la densité à Gandéfabou Kelwélé est de 42,77 hbts/km^2, celle de Dampela est de 32,40 hbts/km^2 contre 14,60 hbts/km^2 à Kékénéné (Tableau 4). Elle est plus importante à Gandéfabou Kelwélé que dans les deux autres villages. Entre 1996 et 2006, la densité a beaucoup évolué à Kékénéné et à Gandéfabou Kelwélé, tandis qu'elle est restée presque stable à Dampela du fait de la saturation agricole. Cependant, la densité brute de la population n'exprime pas très souvent la pression anthropique sur les terres. Le taux d'évolution de cette densité est plus explicite. Le taux de changement annuel de la densité est très variable d'un village à l'autre et selon les décennies. Entre 1985 et 1996, le taux annuel de densité est remarquable à Kékénéné (6,88%) et à Gandéfabou Kelwélé (5,01%), et faible à Dampela (1,28%). De 1996 à 2006, le taux est en baisse à Dampela (0,04%) et à Kékénéné (4,15%) et légèrement en hausse à Gandéfabou Kelwélé (5,26%). Entre les deux périodes, on constate une baisse du taux annuel de densité aussi bien à Dampela et à Kékénéné, que dans la région du Sahel. Cependant les projections montrent un accroissement de la population à l'horizon 2025 dans le Sahel (MEF, 2010). En 20 ans (1985-2006), le taux de changement annuel est estimé à 7,07% à Kékénéné, 0,69% à Dampela et 6,51% à Gandéfabou Kelwélé (INSD, 1989; INSD, 1998). On constate que le taux annuel de densité de Kékénéné et de Gandéfabou Kelwélé est supérieur à celui de la région du Sahel qui est de 3,2% pour la même période (1985-2006) (MEF, 2007). Le fort taux annuel de densité durant les 20 dernières années à Kékénéné pourrait en partie être expliqué par les migrations à la recherche de l'or.

Tableau 4 : Evolution de la population dans les trois villages (1985-2006)

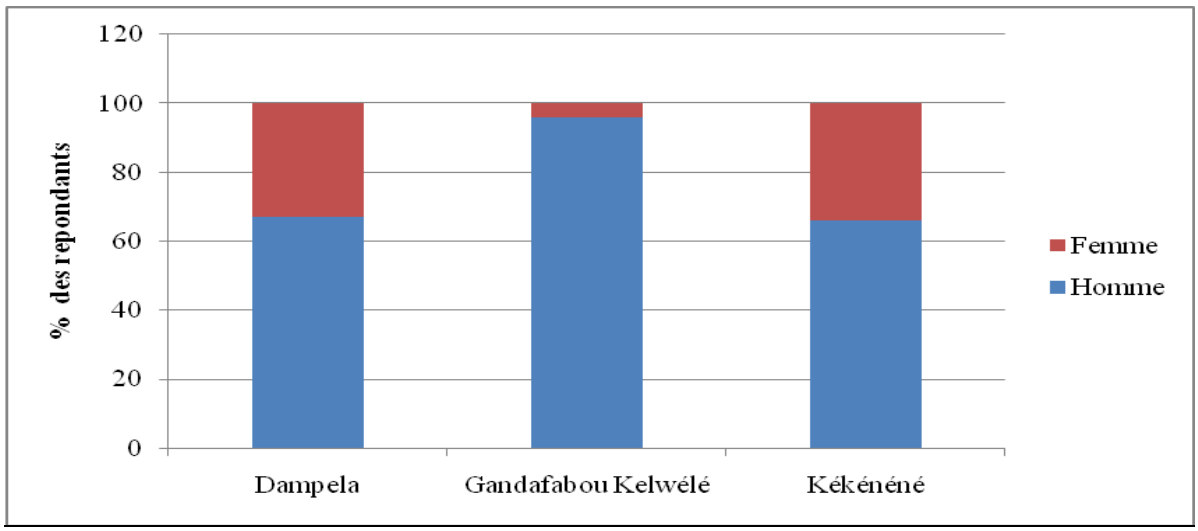
Paramètres	Kékénéné			Dampela			Gandéfabou Kelwélé		
	1985	1996	2006	1985	1996	2006	1985	1996	2006
Population totale	670	1177	1665	1246	1421	1426	886	1374	2097
Densité de la population	5,87	10,32	14,60	28,31	32,29	32,40	18,07	28,02	42,77
Taux annuel densité 1985-1996		6,88			1,28			5,01	
Taux annuel densité 1996-2006		4,15			0,04			5,26	
Taux annuel densité 1985-2006		7,07			0,69			6,51	

Source : INSD, 1985, 1996 et 2009

Le nombre total de ménages dans le village de Kékénéné, Dampela et Gandéfabou Kelwélé est respectivement de 246, 255 et de 182. Au total, les questionnaires d'enquête ont été administrés à 194 ménages de ces trois villages sélectionnés, soit 30% de ménages à Kékénéné et à Gandéfabou Kelwélé et 26% à Dampela.

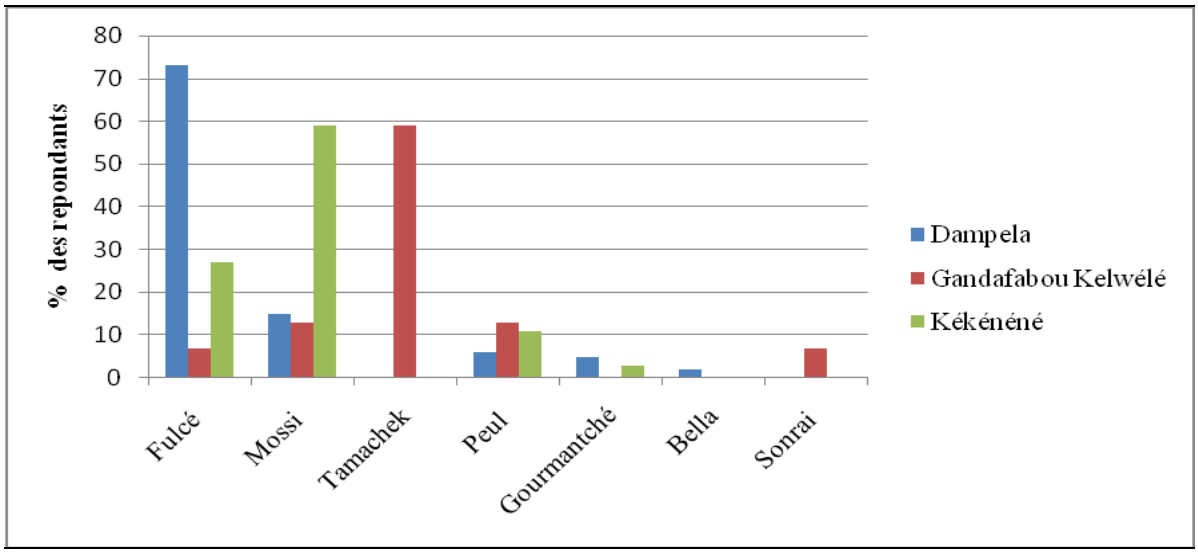
Les résultats indiquent que 67, 96 et 66% des interlocuteurs sont des hommes, respectivement pour le village de Dampela, Gandéfabou Kelwélé et Kékénéné (Figure 5). Le faible pouvoir de prise de décision des femmes, et le caractère conservationniste des sociétés traditionnelles sahéliennes expliqueraient le nombre limité des femmes, surtout remarquable à Gandéfabou Kelwélé où elles ne pratiquent presque pas l'agriculture. L'âge moyen des répondants est de 50 ans pour les trois villages. Les groupes ethniques dominants sont les *Fulcé* (73%) à Dampela, les *Tamatchek* (59%) à Gandéfabou Kelwélé et les *Mossi* (59%) à Kékénéné (Figure 6).

Figure 5 : Répartition des ménages enquêtés par sexe



Source : Enquêtes terrain, 2011

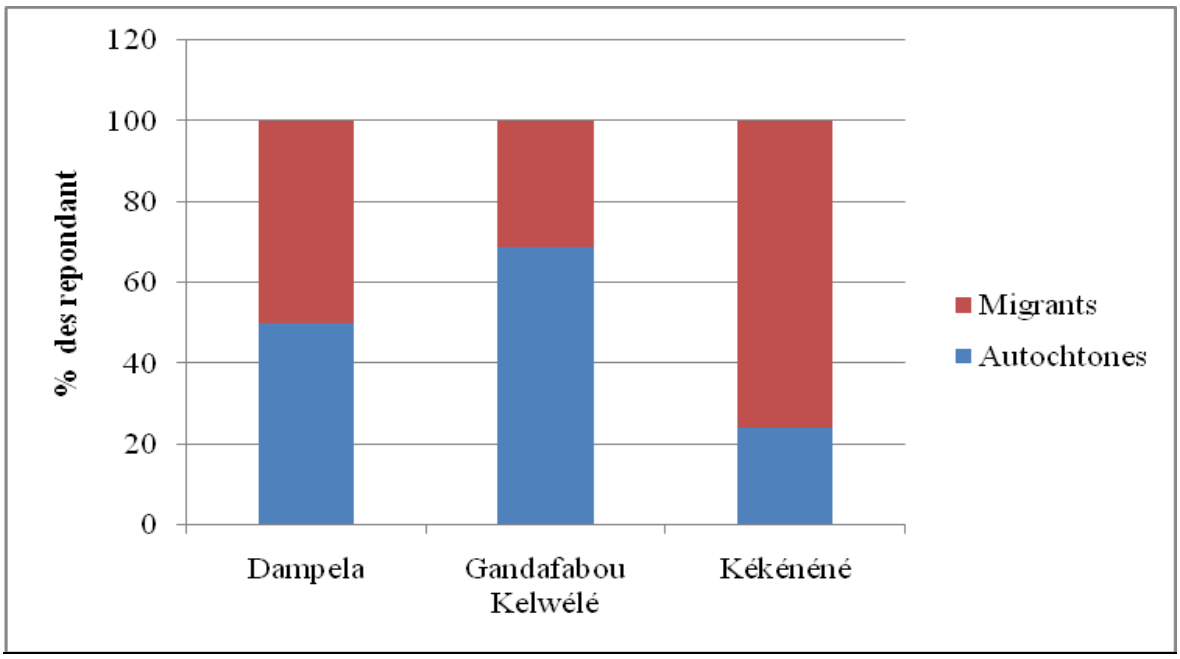
Figure 6 : Répartition ethnique des ménages enquêtés



Source : Enquêtes terrain, 2011

Parmi les interviewés, dans les trois villages, 47, 76 et 94% y résident en permanence, durant au moins 20 ans respectivement à Kékénéné, Gandéfabou Kelwélé et Dampela. Pour l'ensemble de ces villages, plus de 90% des enquêtés sont des musulmans. Plus de 50% des populations enquêtées à Dampela et Kékénéné sont des migrants. A Gandéfabou Kelwélé par contre, la majorité de la population interviewée est autochtone (69%) (Figure 7).

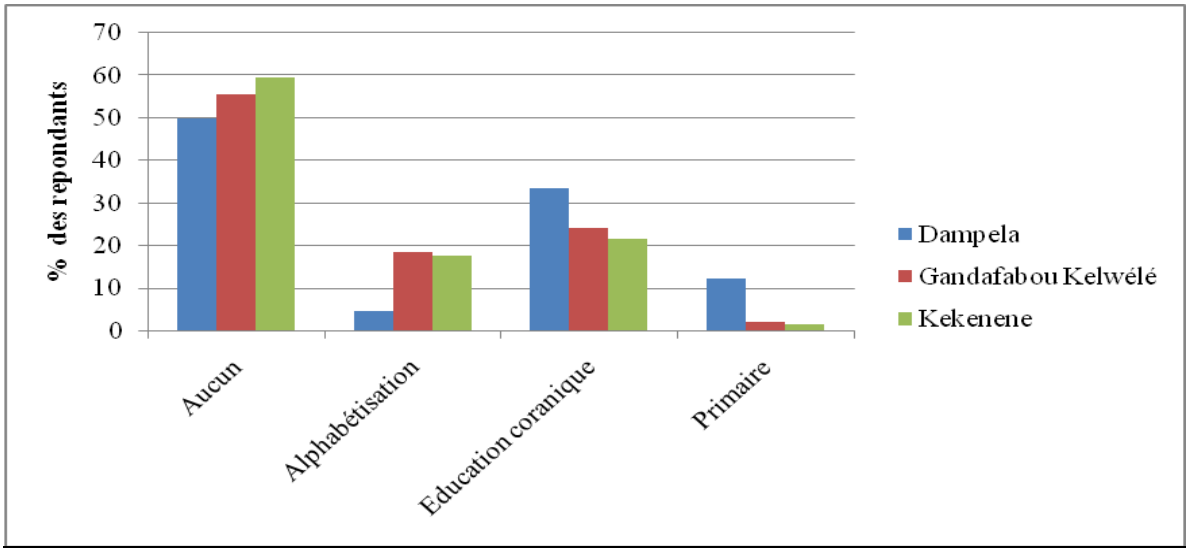
Figure 7 : Statut de résidence des ménages répondants



Source : Enquêtes terrain, 2011

Les résultas d'enquête montrent que les répondants sont en majorité illettrés, quel que soit le village. Une proportion non négligeable de ces repondants ont cependant, une éducation coranique. A Dampela, certains enquêtés ont atteint le niveau primaire de l'éducation formelle (Figure 8).

Figure 8 : Niveau d'éducation des enquêtés



Source : Enquêtes terrain, 2011

Le terroir de Kékénéné est surtout peuplé de migrants *Mossi* venant du Sanmentenga, et de *Fulcé* originaires d'Aribinda, qui se sont installés au début pour la recherche de l'or, et ensuite pour les terres agricoles. Les *Peulh*, les *Benda* et les *Bella* sont originaires du Mali. Dampela est un village de *Fulcé* autochtones, de *Mossi*, et de migrants *Bella* et *Peulh* venant du Mali et de Gorom-Gorom. C'est un village d'agropasteurs. Par contre, Gandéfabou Kelwélé est surtout un village d'éleveurs convertis partiellement à l'agriculture il ya peu de décennies. Les ethnies présentent sont les *Tamachek*, les *Peulh* et les *Bella*.

La population des trois villages connaît une certaine mobilité dont les principales causes sont : l'extraction de l'or dans des sites aurifères qui attire beaucoup de jeunes de Dampela. La population juvénile des villages de Kékénéné et Dampela, migre aussi temporairement, vers les centres urbains (principalement Bobo Dioulasso) et vers les pays voisins (Mali, Côte d'Ivoire). Les résultats d'études montrent qu'au moins par an, 1 à 2 personnes quittent les deux villages dans les ménages enquêtés (50% des répondants). Le village de Dampela par exemple, connaît récemment beaucoup de départs temporaires et définitifs de bras valides vers les régions de Tasmakat, Koutougou, Fétacolé, Yinata et Togomaël (tous situés au Sahel) pour la recherche de l'or et vers le Mali et Bobo Dioulasso à la recherche de meilleures conditions de vie. Le village de Gandéfabou Kelwélé connaît un faible départ définitif de ses jeunes habitants.

2.2.2 Structure sociale de la zone d'étude

L'organisation sociale traditionnelle dans le terroir de Dampela, est gérée par un chef de village qui est en même temps chef de terre. A Kékénéné, village de migrants, et à Gandéfabou Kelwélé, il n'y a pas de chef de village ni de chef de terre.

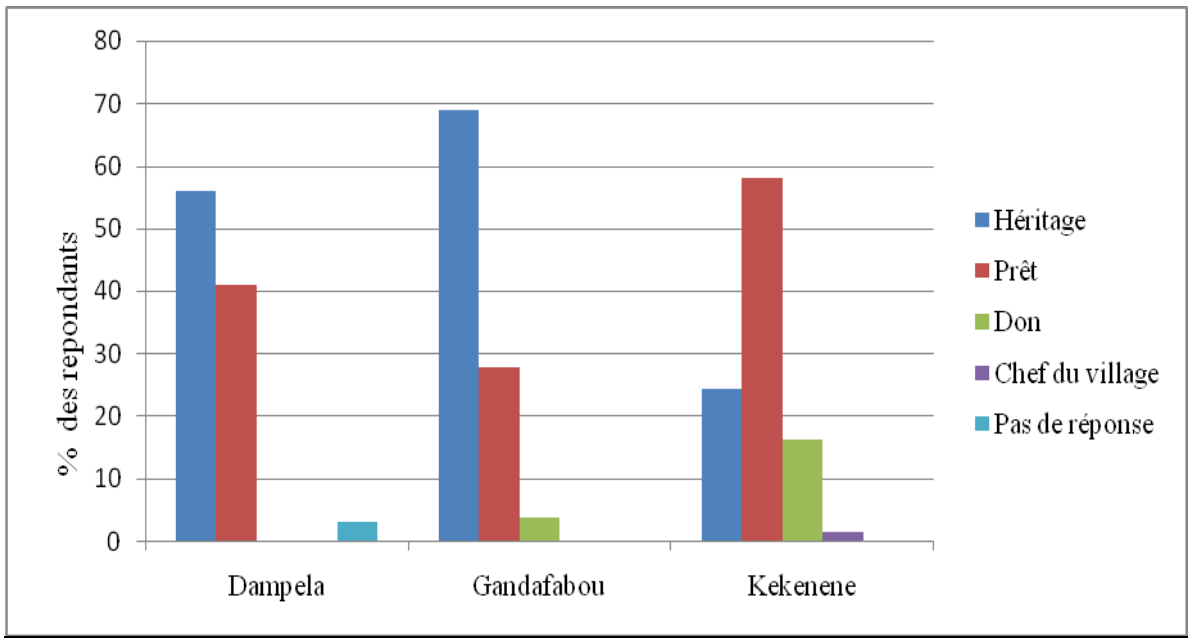
Dans les trois villages, il y a des autorités civiles locales que sont les conseillers villageois de développement (CVD), couramment appelés délégués, et les conseillers municipaux présents à Kékénéné et à Gandéfabou Kelwelé.

Des organisations paysannes sont également présentes. Elles sont très souvent fondées par les initiatives des projets de développement intervenant dans la zone. Les entretiens menés auprès des délégués montrent que dans les trois villages d'étude, il ya des organisations sous formes de groupements villageois. A Kékénéné, comme dans les deux autres villages, il y a deux groupements hommes pour les activités agricoles et pastorales (groupement sésame et élevage), deux groupements femmes (groupement sésame et élevage) et un bureau (mixte) de producteurs de riz pluvial, spécifiquement pour le village de Dampela. Les groupements hommes pour l'élevage de Dampela et de Kékénéné, avec l'appui de l'union des groupements villageois d'Aribinda (UGVA), font un peu de l'embouche et bénéficient de crédits auprès du service rural d'approvisionnement et de commercialisation (SERACOM) avec des échéances de remboursement.

La gestion traditionnelle des terres est essentiellement régie par le droit traditionnel. Dans les trois villages, les terres sont gérées par le chef de village et les propriétaires terriens. L'accès à la terre se fait principalement par héritage et par des prêts. Les exploitations familiales sont généralement pratiquées sur les terres héritées. L'enquête menée auprès des populations révèle que 69% des répondants à Gandéfabou Kelwélé et 56 % à Dampela ont acquis les terres par héritage. A Kékénéné, 58% des répondants ont obtenu les terres par prêt (Figure 9).

Le droit traditionnel garantit l'accès à la terre à tout individu dans le besoin, autochtone ou migrant et qui en fait la demande. Pour les migrants, l'accès à la terre se fait par un intermédiaire ou un tuteur qui introduit la demande auprès du chef de village ou du propriétaire de terre. Un contrat d'exploitation sur une période déterminée doit être établi avec des témoins.

Figure 9 : Formes d'accès à la terre



Source : Enquêtes terrain, 2011

En plus du régime foncier traditionnel, il y a un régime moderne, régi par la loi portant réorganisation agraire et foncière. Cette loi stipule en son article 4 que : « la terre appartient à l'Etat qui assure la gestion rationnelle et durable des terres rurales, la lutte contre la spéculation foncière en milieu rural et favorise la mise en valeur effective des terres rurales pour le bien-être des populations, veille à l'exploitation durable des terres rurales dans le respect des intérêts des générations futures, organise la reconnaissance juridique effective des droits fonciers locaux légitimes des populations rurales, assure la garantie des droits de

propriété et de jouissance régulièrement établis sur les terres rurales, veille de manière générale à la protection des intérêts nationaux et à la préservation du patrimoine foncier national en milieu rural » (AN, 2009). Cependant, cette loi est très souvent peu respectée ou méconnue des populations locales.

2.2.3 Caractéristiques économiques de la zone d'étude

L'agriculture et l'élevage sont les deux principales activités économiques dans la zone d'étude. Au niveau régional, les superficies emblavées dans les deux provinces de Soum et de l'Oudalan entre 1990 et 2010 sont passées respectivement de 65 100 à 107 844 ha et de 61 000 à 16 6424 ha. En 20 ans, le taux annuel de changement est de 3,28% pour l'Oudalan et de 8,68% pour le Soum (DNSA, 2011).

Au niveau local également, les activités principales sont l'agriculture pour Kékénéné et Dampela et l'élevage pour Gandéfabou Kelwélé. Dans les ménages enquêtés, 67 et 61% des répondants respectivement à Dampela et Kékénéné sont principalement des agriculteurs et 81% sont éleveurs à Gandéfabou Kelwélé (Figure 10).

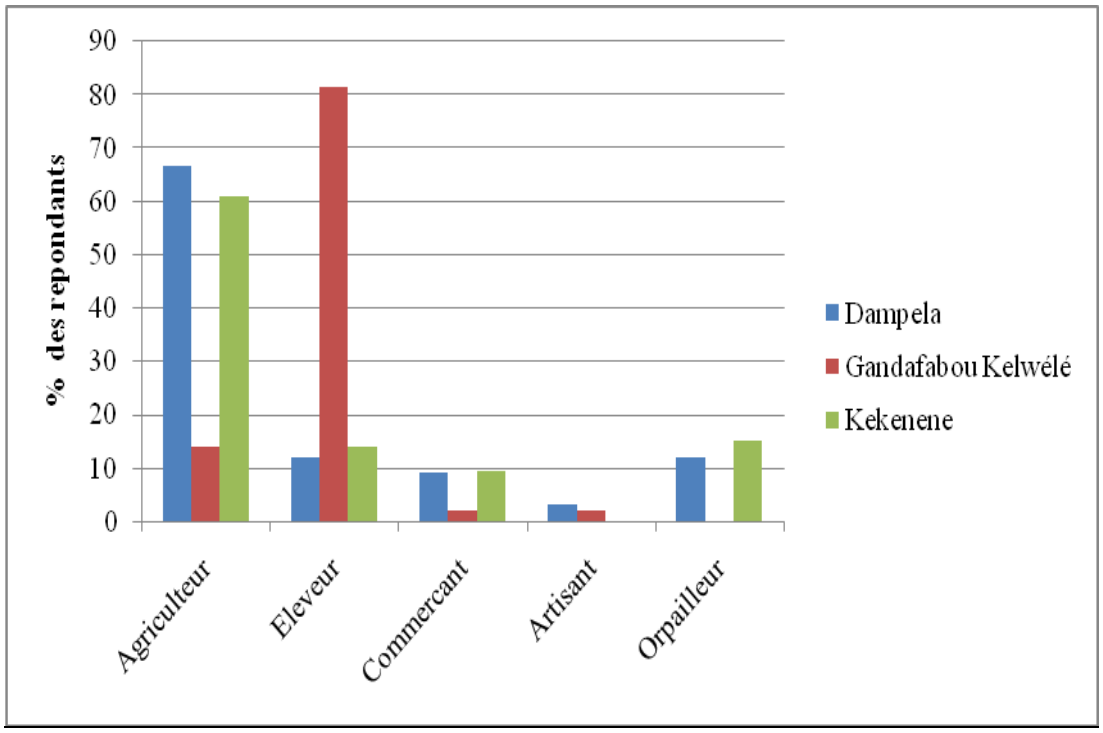
Les statistiques du cheptel au niveau village est difficilement estimable. Cependant au niveau régional, l'effectif du cheptel (bovin, ovin et caprin) est en croissance durant la période de 1990 à 2010. Cet effectif est passé de 418 125 et 512 086 têtes en 1990 à 882 227 et 1 087 542 têtes en 2010, respectivement pour la province de l'Oudalan et du Soum. Le taux de changement annuel pour la région du Sahel est de 2% pour les bovins et 3% pour les ovins ainsi que pour les caprins (ENEC, 2004).

En plus des deux principales activités, il y a l'artisanat, le commerce et surtout l'orpaillage qui est développé à Kékénéné et Dampela (Figure 10). En effet, l'avènement de l'orpaillage

au Sahel a coïncidé avec la grande sécheresse de 1983 et 1986. L'orpaillage a permis aux éleveurs de reconstituer leur cheptel. L'achat du bétail est une des principales formes d'investissement des revenus tirés de l'orpaillage. L'impact de ces sites aurifères sur l'économie de la région est très significatif.

Du fait des crises climatiques successives, les agriculteurs et éleveurs au Sahel sont devenus en majorité des agro-pasteurs.

Figure 10 : Activités professionnelles des ménages enquêtés



Source : Enquêtes terrain, 2011

2.3 CARACTERISTIQUES DES SYSTEMES DE PRODUCTION AGRICOLE ET PASTORALE

Un système de production agricole est l'intégration des dimensions biophysiques comme les nutriments du sol et les bilans hydrologiques, et les aspects socio-économiques au niveau de l'exploitation où sont prises la plupart des décisions concernant la production et la consommation, (FAO, 2001)[5]. Il sert à caractériser une exploitation agricole en rapport avec son environnement (l'utilisation des terres, des inputs et outputs, la gestion des investissements, du travail et l'affectation du revenu) (Sanogo, 2010).

On entend par système de production pastorale, l'ensemble des techniques et des pratiques mises en œuvre par une communauté pour exploiter, dans un espace donné, des ressources végétales par des animaux, dans des conditions compatibles avec ses objectifs et avec les contraintes du milieu. Les systèmes d'élevage mettent en œuvre des modes d'utilisation de l'espace, des relations entre productions animales et productions végétales et des modes de valorisation des productions. Ainsi considéré, « le système d'élevage est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisé par l'homme en vue de valoriser des ressources par l'intermédiaire d'animaux domestiques pour en obtenir des productions variées ou pour répondre à des objectifs » (Landais 1994)[6].

Le terme "pastoralisme" désigne l'ensemble des pratiques d'élevage et d'organisation du territoire liées à l'utilisation des espaces naturels pour le pâturage des troupeaux.

La transhumance est un système de production animale caractérisé par des mouvements saisonniers de caractère cyclique, d'amplitude variable. Ces mouvements s'effectuent entre des zones écologiques complémentaires, sous la garde de quelques personnes, la plus grande

[5] Cité par Sanogo, F (2012)
[6] Cité par Torou, B. M (2012)

partie du groupe restant sédentaire (Zoundi, 2007)[7]. Le terme transhumance fait référence à une pratique de déplacements des troupeaux saisonniers, pendulaires selon des parcours bien précis, répétés chaque année. Le pastoralisme est différent du nomadisme qui est le déplacement des éleveurs avec leurs familles et les troupeaux d'un pâturage à un autre (Torou, 2012).

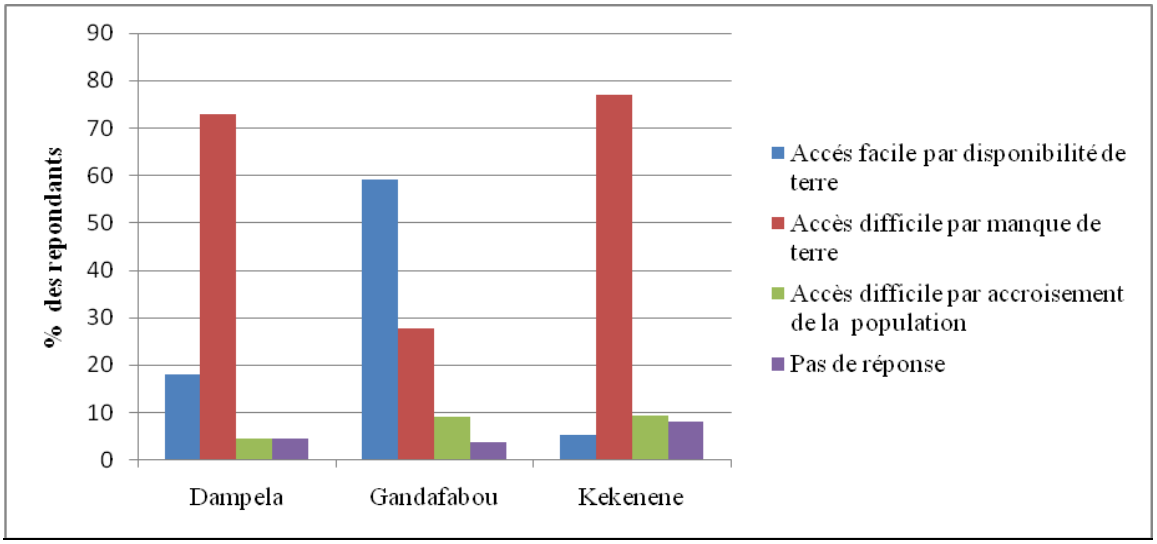
Les systèmes de production au Sahel sont agropastoraux c'est-à-dire la combinaison de l'élevage et de l'agriculture.

2.3.1 Caractéristiques du Système de production agricole

Le système d'exploitation agricole, dans les trois villages enquêtés, est caractérisé par une agriculture pluviale céréalière de subsistance de type extensif. L'accès à la terre est beaucoup plus difficile à Kékénéné et à Dampela, qu'à Gandéfabou Kelwélé. Le manque de terres arables est l'un des facteurs les plus explicatifs de cette situation selon 73 et 77% des populations respectivement à Dampela et à Kékénéné. Selon le conseiller villageois de développement de Kékénéné, il y a beaucoup de terres impropres à l'agriculture (sols dénudés et compactés). Il mentionne qu'il y a aussi beaucoup d'inondations ces dernières années, ce qui oblige certains agriculteurs à aller chercher des terres cultivables à Djahel, village voisin distant de 10 km. A Gandéfabou Kelwélé il y a encore de terres disponibles de l'avis de 59% des enquêtés (Figure 11). Cela peut expliquer qu'à Gandéfabou Kelwélé, il y a plus de possibilités d'expansion des cultures.

[7] Cité par Torou, B. M (2012)

Figure 11 : Condition d'accès à la terre



Source : Enquêtes terrain, 2011

Il y a plus de personnes actives en agriculture à Dampela et à Kékénéné (5 à 10 personnes) dans les ménages enquêtés, qu'à Gandéfabou Kelwélé (2 à 5 personnes). Les superficies cultivées sont en moyenne de 4,4 hectares à Dampela, 2,86 hectares à Kékénéné et de 1,35 à Gandéfabou Kelwélé. Le nombre de champs par paysan est de 2 à 3 à Dampela, 2 à 4 à Kékénéné et de 1 à 2 à Gandéfabou Kelwélé (Tableau 5).

Tableau 5 : Caractéristiques du système de production agricole

Paramètres	Dampela	Gandéfabou Kelwélé	Kékénéné
Personnes actives en agriculture	5 à 10	2 à 5	5à 10
Nombre de champs en moyenne par paysan	2 à 3	1à 2	2à4
Superficie cultivée en moyenne par paysan (ha)	4,4	1,35	2,86

Source : Enquêtes terrain, 2011

De plus, selon les populations de ces deux villages la main d'œuvre agricole a augmenté ces 20 dernières années ; tandis qu'à Gandéfabou Kelwélé, elle est restée stable (Tableau 6). Cependant selon les effectifs de la population donnée par l'INSD entre 1985 et 2006, la

population a augmenté à Gandéfabou Kelwélé. L'explication plausible est qu'une augmentation de la population ne conduit pas forcement à un accroissement de la main d'œuvre agricole. C'est l'exemple à Gandéfabou Kelwélé, où une proportion non négligeable de la population (les femmes) ne cultive pas la terre.

Tous les différents paramètres décrits ci-dessus, indiquent des facteurs plausibles d'expansion des cultures, beaucoup plus marquée à Kékénéné et à Dampela qu'à Gandéfabou Kelwélé.

Tableau 6 : Disponibilité de la main d'œuvre selon les enquêtés

Paramètres	Dampela	Gandéfabou Kelwélé	Kékénéné
En hausse	58	44	51
En baisse	6	6	5
En stagnation	29	43	39
Sans opinion	0	2	0
Pas de réponse	8	6	4

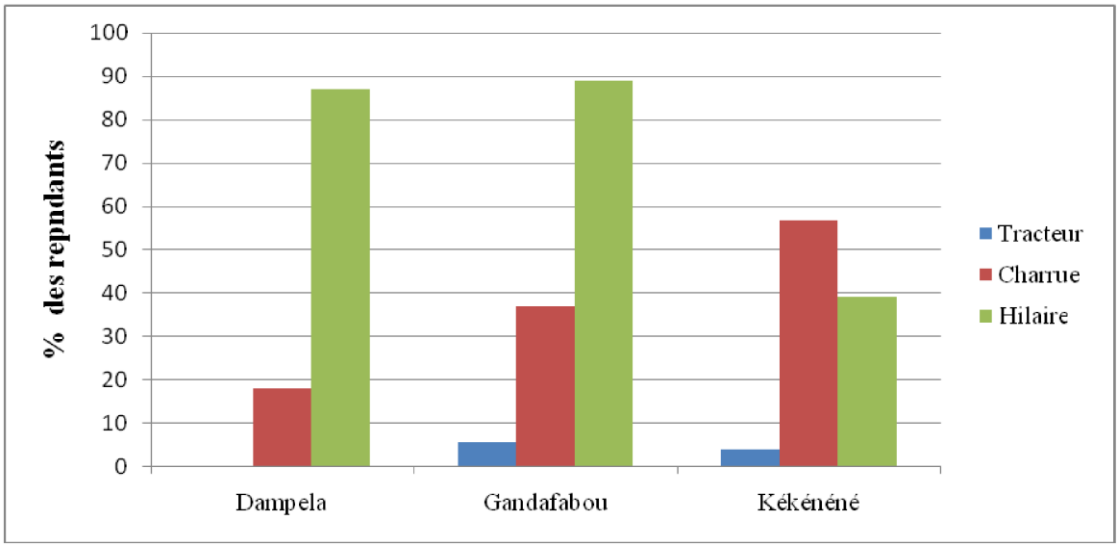
Source : Enquêtes terrain, 2011

Les espèces cultivées sont principalement le mil ; le sorgho, surtout à Kékénéné et à Dampela, le sésame, le niébé, et un peu de maïs cultivé sur les berges des cours d'eau. L'association de cultures est pratiquée entre le mil et le niébé, le mil et le sésame, le sorgho et le sésame. Le village de Dampela a commencé la culture du riz pluvial depuis 2008. La principale culture à Gandéfabou Kelwélé est le mil à 90%, et un peu d'arachide et de niébé.

Le matériel agricole majoritairement utilisé est l'hilaire (Figure 12, photos 1 et 2). Cet outil permet de cultiver vite et sans trop d'effort sur le sol sableux. Cependant, selon la population des trois villages, depuis la crise écolo-climatique des années 1970, les champs sont étendus vers les bas-fonds et le long des cours d'eau (traditionnellement réservés à l'élevage), et particulièrement aux pieds des massifs granitiques à Kékénéné. Quelques champs existent sur

les glacis à sol compacté très dur à labourer et le matériel agricole utilisé est la charrue et rarement le tracteur (Photos 3 et 4).

Figure 12 : Matériels agricoles utilisés



Source : Enquêtes terrain, 2011

L'utilisation d'intrants agricoles dans les trois villages, excepté le fumier, est presque absente. Le compostage n'est pas pratiqué à Kékénéné à cause du manque d'eau. A Gandéfabou Kelwélé l'expérience de la fosse fumière date de 2008. A Dampela, seuls les membres du groupement agricole utilisent le compost. Les engrais sont faiblement utilisés à Dampela et à Kékénéné et ce, à cause du problème d'accessibilité et du manque d'eau, qui entraine souvent une destruction des plants par l'engrais, selon les populations. La pratique de la jachère existe, mais elle est devenue très rare dans les trois villages. Cela pourrait être lié au manque de terres arables et à l'augmentation de la population. Les sols ainsi exploités durant des décennies deviennent de plus en plus pauvres avec pour corollaire une baisse des rendements agricoles.

Photo1 : Hilaire **Photo 2 : Utilisation de l'hilaire à Dampela**

Photo3 : Utilisation de la Charrue à Dampela **Photo 4 : Utilisation du tracteur à Kékénéné**

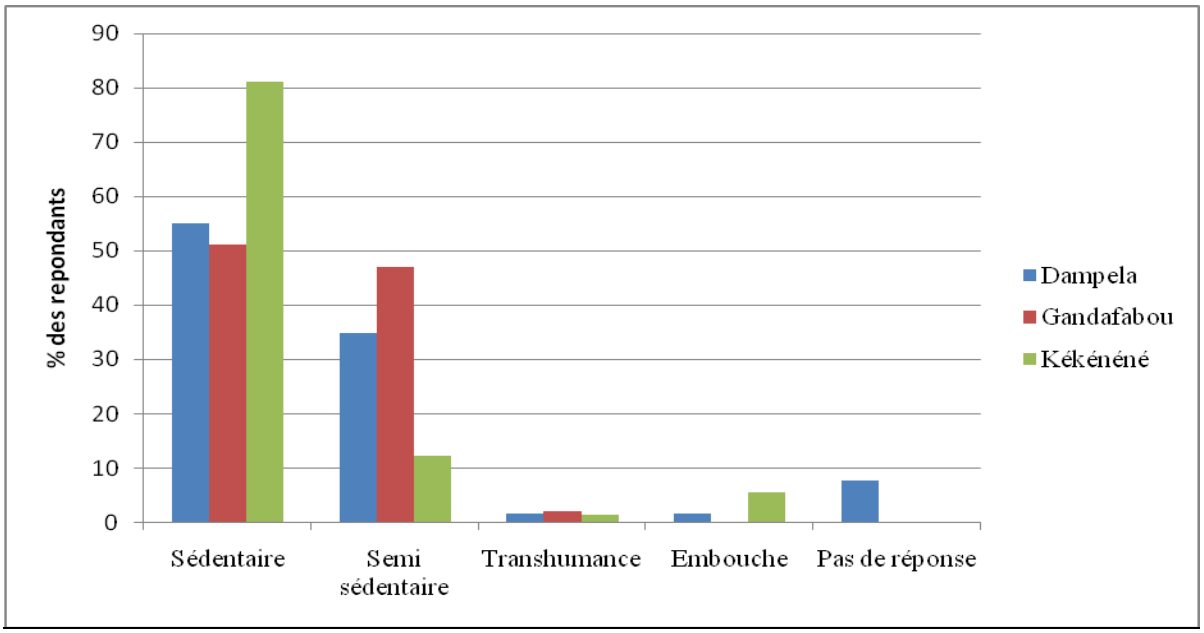
Source : Clichés terrain, Ouoba, juillet 2011

2.3.2 Caractéristiques du système de production pastorale

L'élevage au Sahel est traditionnellement extensif. Le type d'élevage est majoritairement sédentaire et semi sédentaire dans les trois villages (Figure 13). La transhumance se fait à l'intérieur du village et dans les villages voisins. La sédentarisation est plus marquée à Kékénéné et à Dampela qu'à Gandéfabou Kelwélé. Cela s'explique par le fait que les deux villages ont une vocation agricole et sont très fortement actifs pour la recherche de l'or. En

effet, pendant la saison sèche, on observe une forte mobilisation de la main d'œuvre sur les sites aurifères. Le troupeau est donc confié à des enfants qui conduisent les animaux sur les parcours à l'échelle du terroir et des villages voisins. Ce mode de conduite des animaux lié aux contraintes du temps et de l'espace (en termes de nomadisme) peut causer cependant, une pression sur les ressources in situ. L'embouche bovine est peu pratiquée à Kékénéné. Cette activité d'après nos enquêtes de terrain auprès du délégué est tenue par les femmes, avec l'appui des projets.

Figure 13 : Types d'élevage



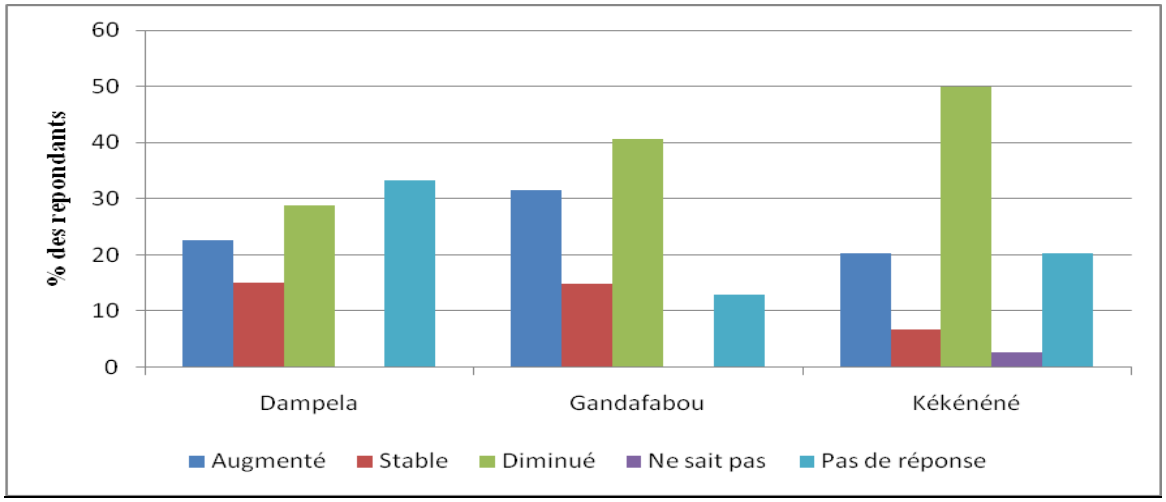
Source : Enquêtes terrain, 2011

Un fait singulier dans les sites d'étude s'observe à Dampela. D'après le délégué de ce village, pendant la saison sèche, un nombre impressionnant de bétail venant de tous horizons (villages environnants et de ceux d'autres provinces et même du Mali) se rencontrent dans ce village à cause de la disponibilité de l'eau souterraine. La convergence de ces nombreux troupeaux dans ce village peut avoir à la fois des impacts négatifs et des avantages sur les ressources

naturelles. A Gandéfabou Kelwélé, village surtout pastoral, la transhumance se pratique faiblement en saison sèche vers les mares de Tin Edjar et d'Oursi.

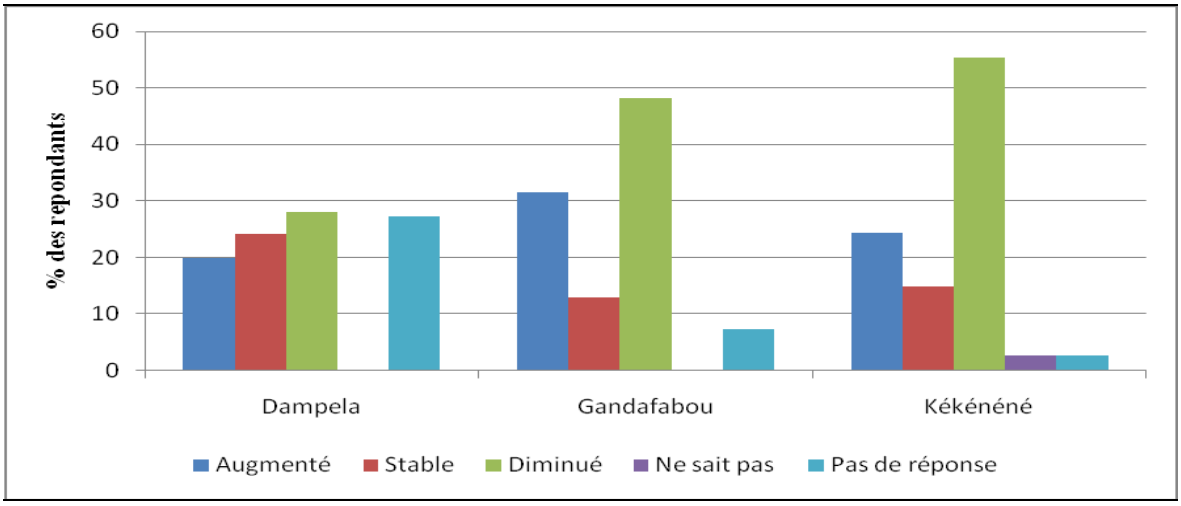
Les espèces dominantes élevées sont les bovins, les ovins et les caprins, ainsi que de volaille. La taille du bétail par paysan est difficile à estimer car les paysans révèlent rarement l'effectif exact de leur bétail. Cependant, selon la majorité de la population locale des trois villages, la taille de ces animaux est en baisse (Figure 14 et 15). Ce qui, en principe, ne devrait pas constituer une pression remarquable sur les ressources naturelles.

Figure 14 : Evolution des effectifs bovins



Source : Enquêtes terrain, 2011

Figure 15 : Evolution des effectifs caprins



Source : Enquêtes terrain, 2011

2.3.3 Organisation de l'espace agricole et pastoral

L'occupation de l'espace est plus ou moins anarchique dans les trois villages. Il n'existe pas de zones spécialisées exclusivement à l'habitation, à l'agriculture, au pâturage, à la conservation et aux couloirs de bétail. Les zones de production agricole sont surtout liées à l'aptitude des sols à la culture. L'agriculture est pratiquée en général, dans les trois villages sur les pénéplaines et préférentiellement sur les glacis à placages sableux à Kékénéné et à Dampela et sur le bas de dune à Gandéfabou Kelwélé. A Dampela, la zone des champs est localisée surtout au centre du village et dans les bas-fonds. A Kékénéné, la zone de culture est principalement située au centre et s'étendent vers le nord du village. A Gandéfabou Kelwélé, les cultures sont pratiquées surtout sur le bas des dunes, le long des bas-fonds.

L'alimentation et l'abreuvement sont les deux éléments essentiels qui régissent le déplacement du bétail et l'occupation de l'espace pastoral. L'élevage est souvent combiné au système d'exploitation agricole dans la zone d'étude. Le pastoralisme repose sur une mobilité faisant appel à des rythmes saisonniers marqués. Les troupeaux gagnent durant la saison des pluies des zones de parcours plus ou moins éloignées des zones cultivées, et reviennent sur les champs dès la fin des récoltes. La consommation des résidus de culture, l'apport de fumure animale, constituent un fondement des relations techniques entre agriculture (et en particulier la culture du mil) et élevage dans cette zone. Le mil et les produits de l'élevage apparaissent en outre très complémentaires dans la satisfaction des besoins familiaux. Le plus souvent, la culture du mil devient partie intégrante d'un mode de gestion agro-pastorale du milieu, et d'un système de production combinant agriculture et élevage, soit au sein des mêmes cellules de production, soit à travers des rapports entre groupes plus ou moins spécialisés.

Pendant la saison sèche, dans les trois villages sites, l'occupation de l'espace par l'élevage durant cette période de l'année est très anarchique. Le pâturage naturel est la principale source

d'affouragement du bétail. La fauche et la conservation des fourrages naturels sont bien pratiquées. Cependant, selon les agents agricoles interviewés, l'adoption de la culture fourragère est faible. Les populations étant majoritairement sédentaires, l'alimentation du bétail est surtout basée sur le pâturage des espèces ligneuses appétées. Le supplément alimentaire est basé sur les résidus de cultures, et la paille. Les animaux se déplacent en direction des points d'eau à l'intérieur des villages ou dans les villages voisins. A Dampela par exemple, les animaux transhumants séjournent durant la saison sèche pendant des mois autour des points d'eau ; ce qui peut constituer une pression sur la végétation autour de ces zones d'abreuvement.

Pendant la saison des pluies, la gestion de l'espace est organisée dans les trois villages. A Dampela les zones de pâturages sont établies au nord et au sud du village, l'endroit où les animaux sont confiés à des bergers. S'il y a manque d'eau, le bétail est autorisé par les propriétaires des champs riverains des bas-fonds, à venir s'y abreuver. Des couloirs de bétail plus ou moins délimités permettent le passage des animaux. Selon le CVD de Kékénéné, il y a également dans ce village, une zone de pâturage relativement délimitée au sud du terroir avec les villages voisins tels que Dalla, Souma et Demtou que les populations de ces villages protègent et surveillent en relais, selon des règlements traditionnels de gestion de pâturage. Les animaux y sont parqués jusqu'à la fin des récoltes. A Gandéfabou Kelwélé la dune a été conservée pour le pâturage. Les cultures étant protégés par des haies vives ou mortes, les animaux accèdent à la dune pour brouter l'herbe fraîche quand la taille est encore inférieure à 60 cm. Au-delà de cette taille, l'herbe n'est pâturé qu'une fois sèche. En ce qui concerne l'abreuvement, le besoin des animaux en eau est réduit durant la saison des pluies.

La présentation de la zone d'étude, à travers la description des caractéristiques biophysiques et socio-économiques, ainsi que les systèmes de production, a été faite dans ce chapitre. L'analyse des différents systèmes de production révèle des possibilités de pressions anthropiques et pastorales sur les ressources naturelles.

Dans la première partie, l'accent a été mis sur le cadre contextuel et conceptuel ainsi que les diverses approches adoptées pour mener à bien la recherche sur les différentes thématiques de la présente étude. Ces différentes approches ont été appliquées sur la zone d'étude qui révèle un milieu physique et socio-économique relativement contraignant, des moyens de productions majoritairement rudimentaires, et des pressions sur les ressources naturelles.

DEUXIEME PARTIE : VISION SCIENTIFIQUE ET PERCEPTION PAYSANNE DE L'EVOLUTION DU CLIMAT

Pour mieux comprendre l'évolution du changement et de la variabilité climatiques, il y a un besoin urgent de combiner les analyses scientifiques des paramètres climatiques et les perceptions et connaissances locales. Dans la deuxième partie de cette étude, l'évaluation de l'évolution de la pluviométrie de 1955 à 2010 et de 1990 à 2010, des températures, de la vitesse des vents, de l'évapotranspiration et de l'humidité est présentée dans le chapitre trois.

Le chapitre quatre expose les perceptions locales des changements et variabilités climatiques, des impacts climatiques sur les activités agropastorales et des stratégies mises en œuvre par les populations locales pour pallier les conséquences négatives des aléas climatiques.

CHAPITRE 3 : VISION SCIENTIFIQUE DU CHANGEMENT ET DE LA VARIABILITE CLIMATIQUES

Ce chapitre porte sur les caractéristiques et l'évolution du climat de la zone d'étude. Il est divisé en quatre sections. La première présente le contexte climatique de la zone d'étude. La deuxième trace l'évolution à long terme de la pluviométrie à l'échelle temporelle et spatiale. La troisième section analyse l'évolution de la pluviométrie à moyen terme, c'est-à-dire les vingt dernières années ; enfin la quatrième section examine l'évolution des autres paramètres climatiques de la zone d'étude qui sont les températures, la vitesse du vent, l'évapotranspiration et l'humidité relative.

3.1 CONTEXTE CLIMATIQUE

3.1.1 Contextes régional et national

Le climat ouest africain est marqué par une alternance de saisons liée aux oscillations annuelles de la zone de convergence inter-tropicale (ZCIT). Celle-ci est la zone de contact entre une multitude de vagues et courants d'air dont les plus fréquents sont l'air sec continental du nord-est (l'harmattan) et l'air maritime humide du sud-ouest (Nicholson *et al.*, 2001; Fontaine *et al.*, 2011; Lafore *et al.*, 2011). Le déplacement de la ZCIT vers le sud, est marqué par une succession active de phases et de pauses qui apportent des pluies dans le domaine sahélien et la côte guinéenne (Nicholson, 2008).

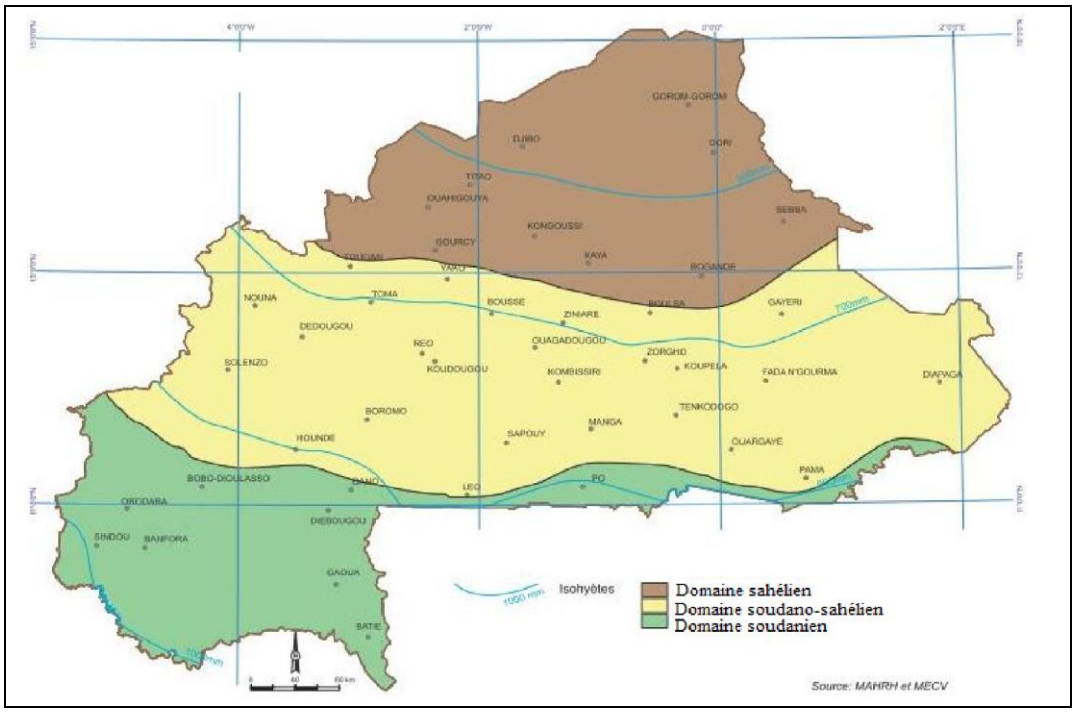
La première saison de pluie le long des côtes guinéennes africaines intervient entre mi-avril et fin juin. Durant cette période, la ZCIT est à une position quasi stable aux environs de la latitude 5°N. Elle est suivie par la saison de la mousson d'été où la ZCIT se déplace vers le nord et se positionne au-dessus de la latitude 11°N, apportant des pluies au Sahel entre juin et

septembre. Ensuite, la deuxième saison des pluies survient sur les côtes guinéennes en octobre et novembre (Sultan *et al.*, 2005; Janicot *et al.*, 2011). Ces déplacements sont associés aux mouvements nord/sud en latitude du jet oriental africain au-dessus de l'Afrique de l'ouest.

Les précipitations au Burkina Faso, comme dans la plupart des pays sahéliens sont liées à la présence de la « mousson » à l'origine d'une saison des pluies de mai à septembre (Sylla *et al.*, 2010; Polcher *et al.*, 2011). Le pays est divisé en trois domaines climatiques (Figure 16) qui se caractérisent comme suit :

- le domaine sahélien (précipitations annuelles inférieures à 600 mm), couvrant les régions au nord du 14ème parallèle, est caractérisé par une courte saison des pluies avec d'importantes amplitudes thermiques diurnes et annuelles ;
- le domaine soudano-sahélien (ou nord soudanien avec des précipitations annuelles moyennes entre 600 et 900 mm) englobant les régions au sud du 11°30' N et 14° N, est caractérisé par des précipitations ne dépassant pas 6 mois ;
- le domaine soudanien (ou soudanien méridional avec des précipitations annuelles moyennes supérieures à 1000 mm) englobant les régions au sud du 11°30'N, est caractérisé par les pluies qui s'étalent sur environ la moitié de l'année avec une amplitude thermique assez faible (MEF, 2010).

Figure 16 : Domaines climatiques du Burkina Faso



Source : Extrait de MEF (2010)

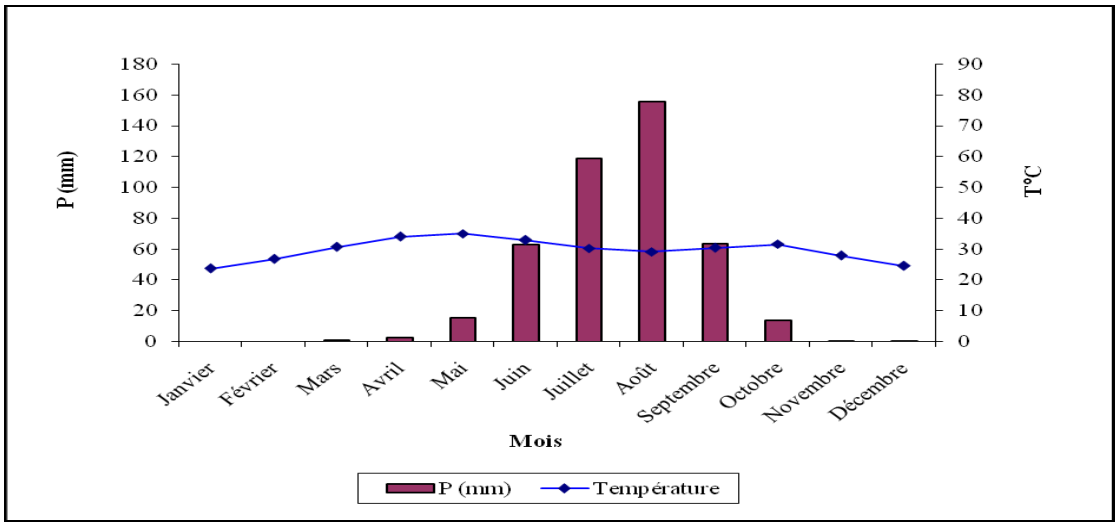
3.1.2 Régime pluviométrique

Les sites d'étude que sont Dampela, Kékéné et Gandéfabou Kélwélé, se localisent dans le domaine sahélien dont fait partie la région administrative du Sahel au Burkina Faso.

La moyenne des précipitations annuelles de la station de Gorom Gorom est de 418 mm/an pour la période de 1981-2010 et celle d'Aribinda est de 436 mm/an pour la même période.

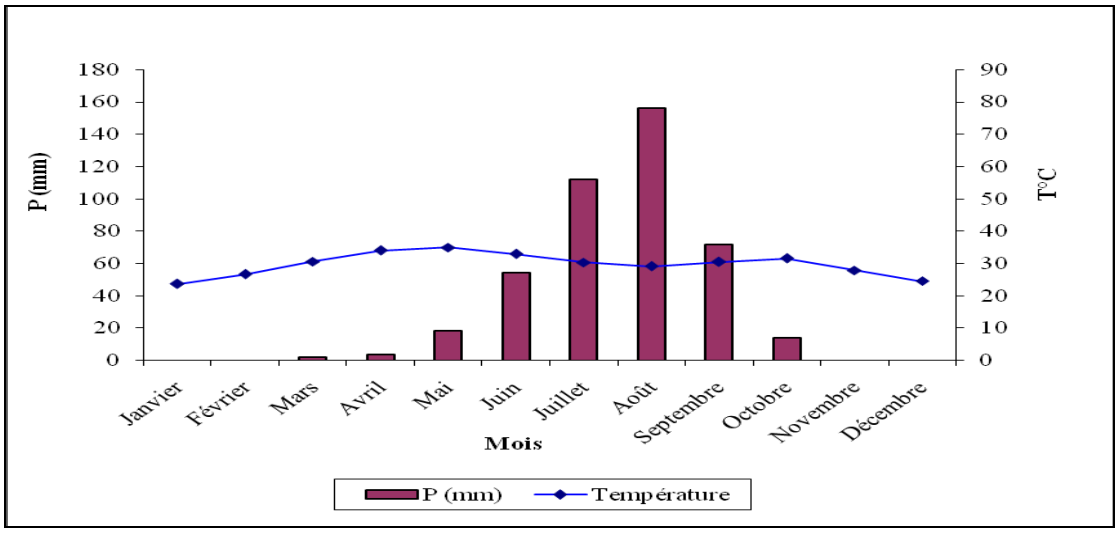
Le régime pluviométrique est unimodal. Sur le diagramme ombro-thermique des deux stations, on distingue trois périodes (Figure 17a et 17b) : une période humide qui va de juin à septembre, avec des précipitations élevées, surtout en août, et des températures relativement basses ; deux périodes sèches allant d'octobre à décembre et de janvier à mai, avec des températures moyennes maximales qui varient entre 32° C en janvier et 42° C en avril (1971-2010).

Figure 17a : Diagramme ombro-thermique de la station de Gorom-Gorom (1971-2010)



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Figure 17b : Diagramme ombro-thermique de la station d'Aribinda (1971-2010)



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

3.2 VARIABILITE TEMPORELLE ET SPATIALE DES PLUIES A LONG TERME

Au Sahel, la pluie est la variable climatique la plus déterminante pour la vie des populations. Certains auteurs considèrent qu'elle permet, à elle seule, de déterminer l'évolution de l'environnement dans cette région (Ali, 2010). La pluviométrie peut donc être considérée comme le paramètre le mieux indiqué pour caractériser et évaluer l'évolution du climat au

Sahel. Cette partie du chapitre est consacrée à l'analyse d'une longue série temporelle de la pluviométrie de 1955 à 2010, afin de démontrer le changement climatique et montrer la variabilité spatiale entre 1930 et 2010.

3.2.1 Evolution temporelle de la pluviométrie

L'analyse de la variabilité interannuelle des précipitations des deux stations d'Aribinda et Gorom-Gorom entre 1955 et 2010 permet de distinguer trois séquences (Figures 18a et 18b). Une première, allant de 1955 à 1969 pour la station de Gorom-Gorom et de 1955 à 1966 pour celle d'Aribinda, est plutôt humide et considérée comme une période excédentaire. Une deuxième, qui est marquée par deux périodes déficitaires qui va de 1970 à 1979 et de 1980 à 1988 pour Gorom-Gorom, et de 1967 à 1975 et 1979 à 1987 pour Aribinda. La troisième séquence commence à partir de 1989 pour les deux stations, et est caractérisée par une période relativement humide avec une moyenne annuelle de 470 mm pour la période 1990 à 2010 dans les deux stations. La moyenne annuelle de cette troisième séquence est inférieure à celle de la période excédentaire de 1955 à 1966 qui était de 541 mm pour Gorom-Gorom, et de 1955 à 1969, qui était de 545 mm pour Aribinda. Les deux stations étudiées présentent de manière générale, une tendance déficitaire entre 1955 et 2010, avec une baisse plus marquée à Aribinda qu'à Gorom-Gorom.

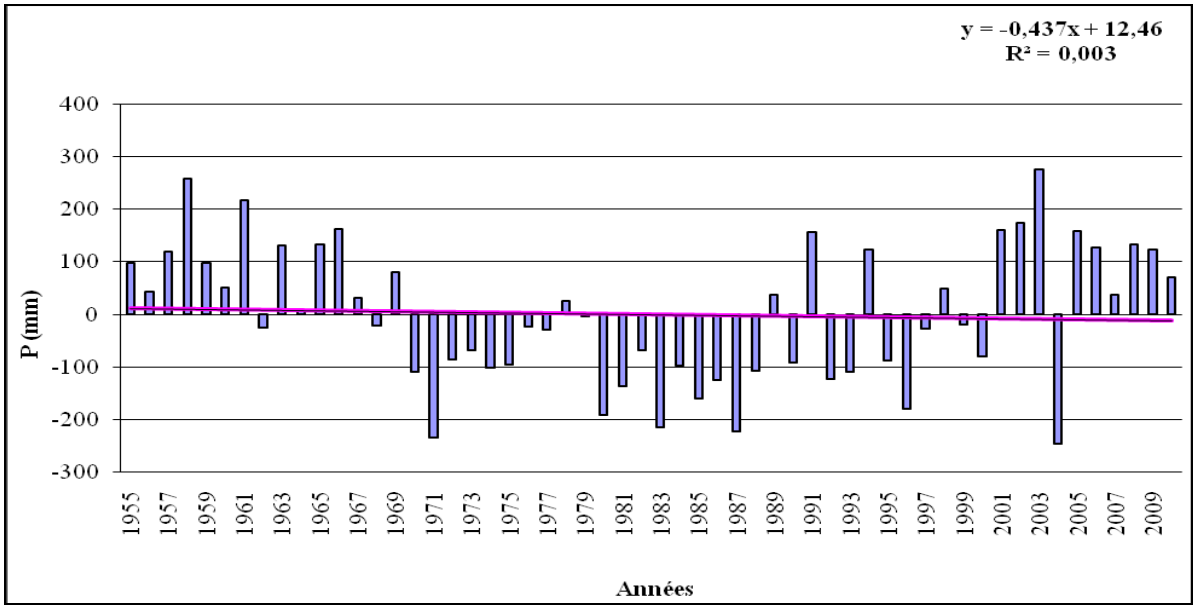
L'analyse à long terme montre une subdivision en trois séquences dans la zone d'étude. La tendance de la pluviométrie connaît en général une baisse. Le constat d'une diminution des précipitations sur une longue période d'étude de 1940 à 2007 est aussi fait au Niger malgré le retour récent de la pluviométrie (Frappart *et al.*, 2009; Ozer *et al.*, 2009; Hastenrath *et al.*, 2011). Le fractionnement de la série d'étude en trois séquences dont la troisième connaît un regain pluviométrique et une grande variabilité interannuelle est aussi observée dans des

travaux de recherche réalisés au Sahel (Dai *et al.*, 2004; Nicholson, 2005). Par exemple, l'utilisation d'un indice des pluies standardisées mis au point par Ali *et al.* (2008), a permis de caractériser la saison des pluies au Sahel. Compte tenu de l'hétérogénéité en termes de variabilité, trois régions ont été définies dans cette étude: le Sahel de l'Est, du Centre et de l'Ouest. Les résultats montrent que la période récente (1990-2006) est caractérisée par une variabilité interannuelle plus forte que celles des deux périodes précédentes, 1950-1969, globalement humide, et 1970-1989, globalement sèche. En revisitant l'indice en 2009, Ali *et al.* montrent cependant, qu'il y a deux tendances pluviométriques différentes pour la période actuelle au Sahel. La tendance à la sécheresse se poursuit dans la partie ouest, alors que la partie orientale connaît un retour progressif à des conditions plus humides.

Pour ce qui est du Sahel du Centre (Burkina Faso, Mali et la partie ouest du Niger) où se situent les sites d'observation de cette étude, il ressort que cette région connaît une amélioration des conditions pluviométriques à partir de 1990 avec cependant, un recouvrement toujours faible par rapport aux moyennes des années 1950–1989. Balme *et al.* (2006) ajoutent que les conditions pluviométriques moyennes annuelles se sont améliorées au cours de la période récente ; par contre, la variabilité interannuelle est devenue importante. De même, Ali (2010) affirme que la troisième séquence (1990-2006) est marquée par l'apparition d'un autre mode de variabilité interannuelle de la pluviométrie caractérisé par une alternance brutale entre années très sèches et années très humides comparativement aux deux précédentes séquences.

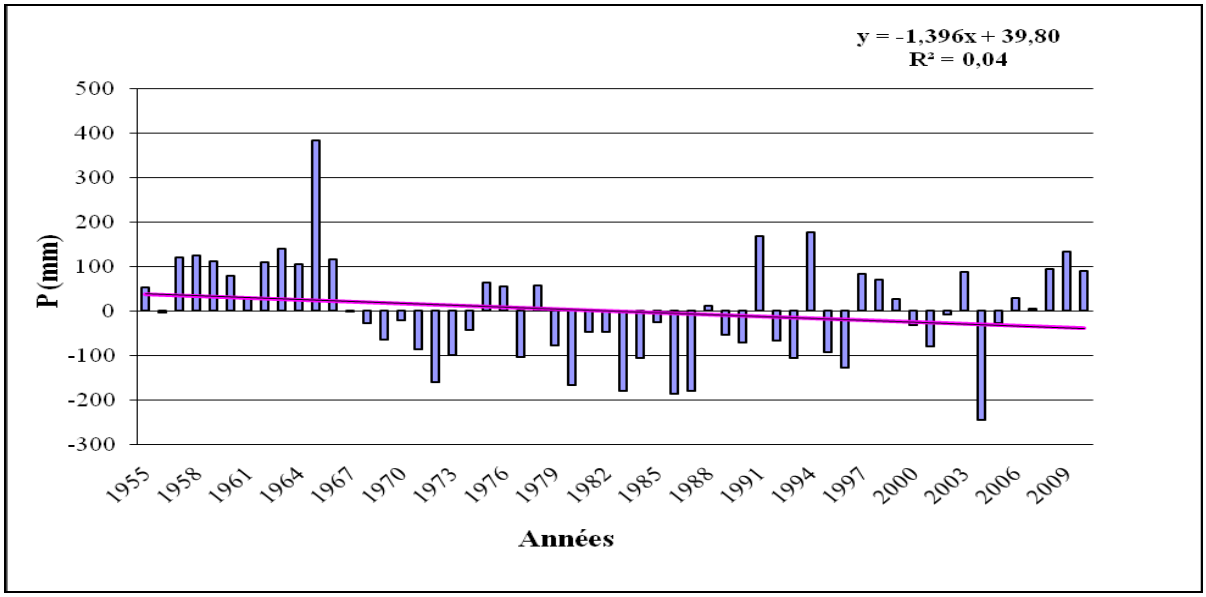
La baisse à long terme de la tendance générale de la pluviométrie constatée est relativement faible dans le Sahel du Centre (avec un coefficient $R^2 = 0.003$ et 0,04) et forte pour l'ensemble du Sahel du Centre (Balme *et al.*, 2006). Cette différence pourrait s'expliquer par l'échelle spatiale d'analyse.

Figure 18a : Evolution des écarts de précipitations en valeurs absolues par rapport à la moyenne de la série de 1955 à 2010 de Gorom-Gorom



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Figure 18b : Evolution des écarts de précipitations en valeurs absolues par rapport à la moyenne de la série de 1955 à 2010 d'Aribinda



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

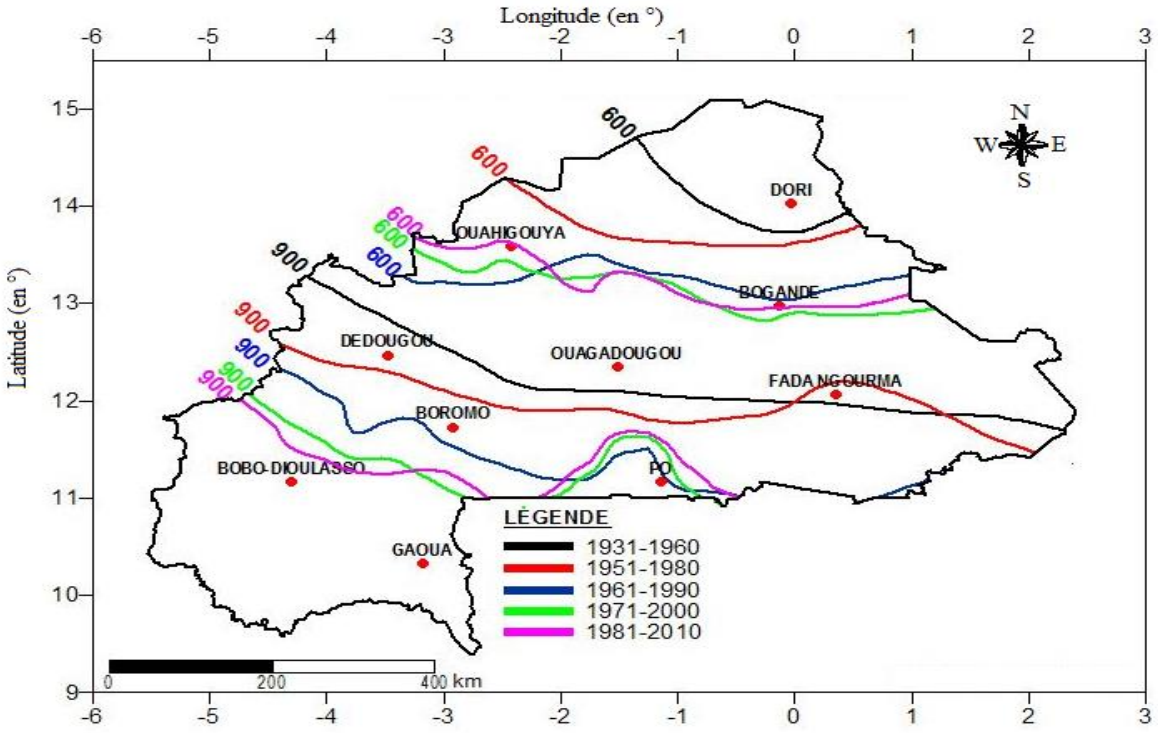
En plus de l'analyse temporelle, l'évolution de la pluviométrie est évaluée par la migration des isohyètes, en particulier l'isohyète 600 mm qui caractérise la région du Sahel burkinabè.

3.2.2 Evolution spatiale de la pluviométrie

Le calcul des moyennes pluviométriques annuelles par période de 30 ans (une période de référence selon l'OMM) depuis 1930 (date des premières observations pluviométriques sans interruption dans la série) à nos jours, permet d'observer la fluctuation des isohyètes dans l'espace (Figure 19a). On observe une descente vers le sud de l'isohyète 600 mm des périodes de 1931-1960, 1951-1980 et 1961-1990. Dans la dernière période, l'isohyète est pratiquement à la latitude de Bogandé et au sud de Ouahigouya. Pour la période de 1971-2000, l'isohyète connaît dans l'ensemble une descente avec, une remontée sensible aux environs de Ouahigouya. La période de 1981-2010 est marquée par une faible remontée de l'isohyète dans l'ensemble, qui atteint à l'ouest la latitude de Ouahigouya.

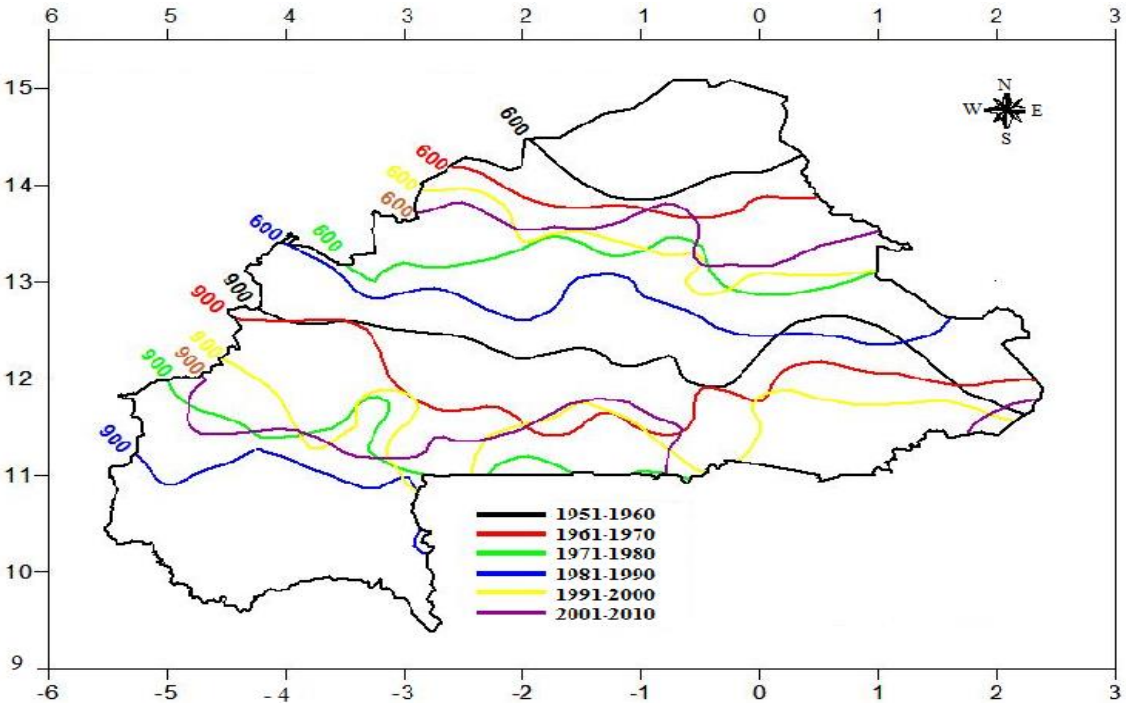
La figure 19b présente la fluctuation décennale des moyennes pluviométriques depuis 1950. On constate un glissement vers le sud autour de Dori de l'isohyète 600 mm des décennies 1951-1960 et 1961-1970. A partir de la décennie 1971-1980, la descente est plus marquée. Pour cette période, l'isohyète est au sud de Bogandé et de Ouahigouya. Pour la période suivante, c'est-à-dire 1981-1990, l'isohyète descend de façon brutale au sud, aux environs de la latitude de Ouagadougou. La décennie 1991-2000 est marquée par une forte remontée de l'isohyète dépassant sa position pour les deux périodes précédentes. La remontée est maintenue au cours de la décennie 2001-2010, mais n'atteint pas encore le niveau de l'isohyète des périodes de1961-1970 et de 1951-1960.

Figure 19a : Migration des isohyètes 600 et 900mm du Burkina Faso



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Figure 19b : Fluctuation décennale des isohyètes 600 et 900mm du Burkina Faso



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

L'évolution spatiale de la pluviométrie varie énormément selon les périodes temporelles d'analyse. En se basant sur les périodes de trente ans, l'isohyète 600 mm connaît une progression vers le sud jusqu'en 2000, et ne descend que très peu au-delà de Bogandé. Cependant, l'évolution décennale montre une forte descente vers le sud aux environs de Ouagadougou pour la décennie 1981-1990. On constate que la remontée a commencé vers 1990 dans les deux cas d'analyse, ce qui est confirmé par l'analyse de l'évolution pluviométrique de la troisième séquence dans le sous titre 3.2.1 de ce chapitre. Par exemple, une étude réalisée à une échelle détaillée, au Niger et au Nigeria, montre que la pluviométrie peut varier considérablement à une distance de quelques kilomètres et sur différentes échelles temporelles (Graef *et al.*, 2001; Akponikpè *et al.*, 2011).

Les deux dernières décennies sont marquées par une remontée de l'isohyète 600 mm ; ce qui signifie un regain de la pluviométrie qui pourrait s'accompagner d'une bonne condition pour la productivité végétale. La remontée des isohyètes est aussi observée dans des résultats d'études réalisées au Sahel (Mohamed *et al.*, 2002; Wittig *et al.*, 2007; Fontaine *et al.*, 2011).

En somme, l'analyse de la pluviométrie sur une longue série (1930-2010 et 1950-2010) montre une variabilité temporelle et spatiale. A l'échelle temporelle, trois séquences bien distinctes de l'évolution des pluies sont déterminées. La tendance générale des précipitations est à la baisse. Cependant, la dernière séquence (1990-2010), marquée par une grande variabilité d'une année à l'autre, connaît un regain de conditions humides dans la zone d'étude. Il est donc important d'analyser en détail les paramètres pluviométriques de cette dernière séquence et de s'assurer de la répartition des pluies et de leur utilité pour les activités agricoles et la productivité végétale.

3.3 VARIABILITE DES PARAMETRES PLUVIOMETRIQUES DE 1990-2010

La pluviométrie, qui est un facteur de production de l'agriculture majoritairement pluviale et céréalière dans la zone d'étude, constitue aussi un facteur limitant du fait de son caractère aléatoire. Il s'avère donc nécessaire de caractériser cette pluviométrie de façon précise afin de cerner les impacts potentiels de la variabilité sur les cultures et sur la végétation. Dans cette partie, il s'agit de démontrer en détail la variabilité interannuelle des paramètres saisonniers et intra saisonniers des précipitations de 1990 à 2010. Parmi ces paramètres, figurent le cumul pluviométrique, analysé par le SPI, le nombre de jours pluvieux dans l'année, l'occurrence des pluies extrêmes, et enfin la date du début, de la fin et la durée de la saison pluvieuse.

3.3.1 Variabilité interannuelle des paramètres saisonniers des précipitations

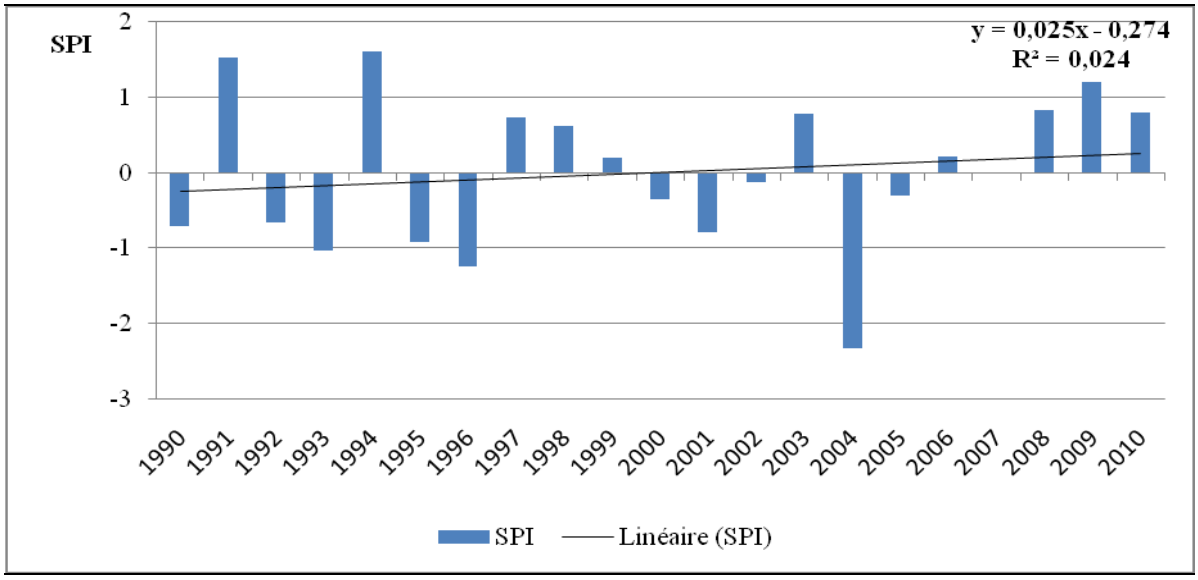
3.3.1.1 Evolution du SPI

La représentation graphique de l'évolution du SPI de 1990 à 2010 indique une variabilité cyclique d'années humides et sèches dans les deux stations de la zone d'étude, Gorom-Gorom et Aribinda (Figures 20a et 20b). Deux phases d'évolution y sont observées. Une première, de 1990 à 2000 caractérisée par une sécheresse modérée, et une deuxième, de 2001 à 2010 qui connaît un regain pluviométrique. Les années de forte et extrême humidité sont respectivement 2002 et 2003 pour Gorom-Gorom. L'année 1990 est marquée par une sécheresse modérée dans les deux localités, et l'année 2004, a été particulièrement la plus sèche dans les deux stations. De 2006 à 2010 c'est-à-dire les cinq dernières années, on constate une humidité modérée à Gorom-Gorom. Cependant à Aribinda, on remarque pour la même période une variabilité entre une humidité modérée (2006, 2008, 2010) et une sécheresse modérée (2007). L'année 2009 est marquée par une humidité forte dans les deux stations. La tendance générale des valeurs du SPI est à la hausse dans les deux stations et plus

importante à Gorom-Gorom qu'à Aribinda. Cette hausse des tendances signifie un regain pluviométrique comme mentionné dans le titre 3.2 du présent chapitre.

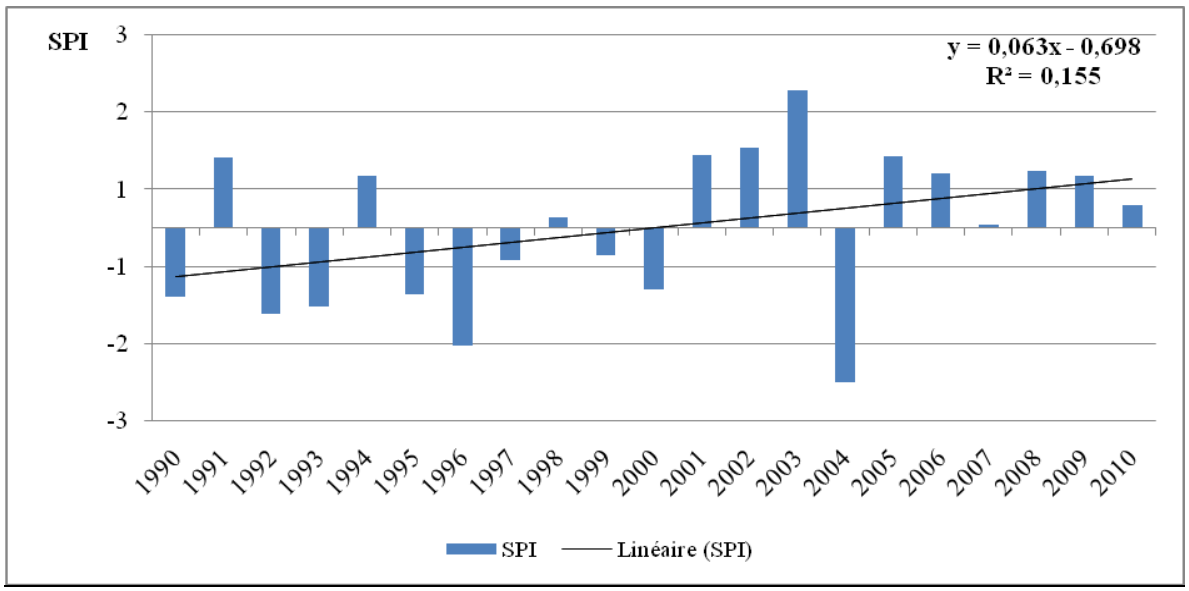
Les résultats des valeurs de SPI de nos sites d'étude sont souvent différents de ceux du Sahel du centre. Par exemple l'année 1997 qui est considérée comme modérément sec à Gorom-Gorom, est cependant très humide au Sahel du Centre dans l'étude de Balme *et al.* (2006), et très sèche dans la zone du Gourma au Mali (Frappart *et al.* 2009). De même l'année 2004, extrêmement sèche dans nos deux sites d'étude, est modérément sèche dans la région de Zinder au Niger (Ozer *et al.* 2009). Ces nuances peuvent être liées à la localisation géographique des sites d'étude, aux échelles d'analyse, mais aussi à la différence des formules d'indices pluviométriques utilisées. Cette disparité des valeurs de SPI illustre, néanmoins du point de vue climatique, l'hétérogénéité spatiale au Sahel.

Figure 20a : Evolution du SPI dans la station d'Aribinda (1990 -2010)



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Figure 20b : Evolution du SPI de la station de Gorom-Gorom (1990-2010)

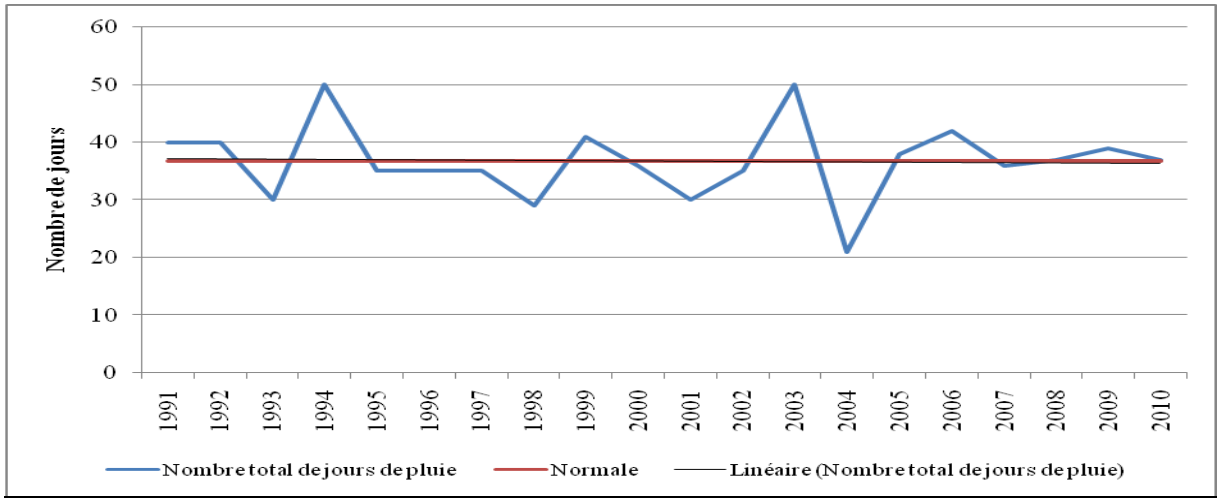


Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

3.3.1.2 Evolution annuelle du nombre de jours pluvieux

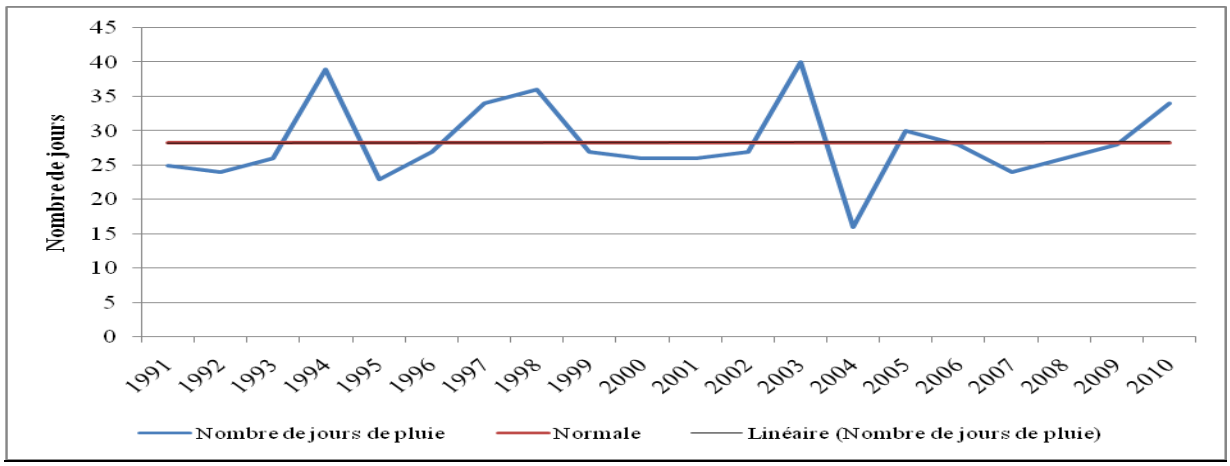
L'évolution annuelle du nombre de jours pluvieux à Aribinda et à Gorom-Gorom de 1991 à 2010, est représentée dans les figures 21a et 21b. Le nombre varie entre 21 (2004) et 50 jours (1994, 2003) pour la station d'Aribinda, et entre 16 (2004) et 40 jours (2003) pour celle de Gorom-Gorom. L'amplitude du nombre pluvieux est de 29 et 24 jours respectivement pour Aribinda et Gorom-Gorom. La moyenne est de 37 jours à Aribinda et de 28 à Gorom-Gorom. La courbe de tendance dans les deux stations est relativement stable. L'analyse de l'évolution annuelle du nombre de jours révèle une très forte fluctuation en dépit de la stabilité constatée dans l'ensemble.

Figure 21a : Evolution annuelle du nombre total de jours pluvieux à Aribinda



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Figure 21b : Evolution annuelle du nombre total de jours pluvieux à Gorom-Gorom



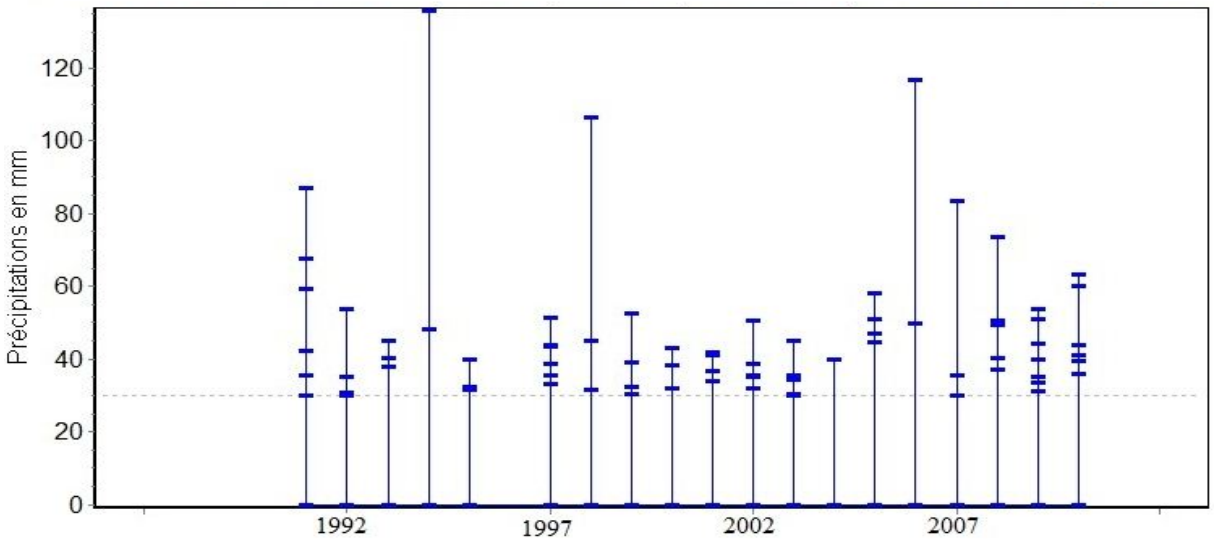
Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

3.3.1.3 Evolution interannuelle des pluies supérieure à 30 mm

Les graphiques 22a et 22b montrent l'évolution interannuelle des pluies extrêmes de 30 mm de 1991 à 2010 dans les deux stations étudiées. A Aribinda, la moyenne du nombre de jours de pluies supérieures à 30 mm est passé de 3 à 4 jours entre les périodes 1991-2000 et 2001-2010. A Gorom-Gorom, la moyenne est de 4 jours entre 1991-2000 et de 5 jours entre 2001-2010. En plus du nombre, la quantité des pluies extrêmes est de plus en plus abondante durant la dernière décennie, surtout à Gorom-Gorom. Ces pluies dépassent souvent 100 mm, comme

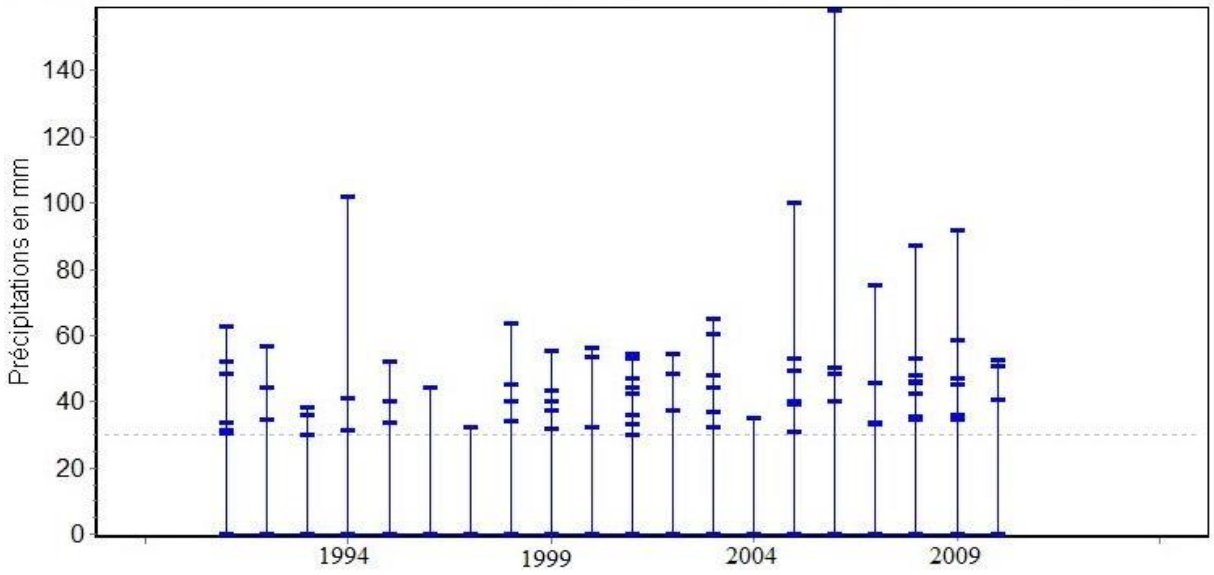
le cas du 9 août 2006 avec 158 mm d'eau tombée (Figure 27b, page 121). L'évolution du nombre de jours de pluies supérieures à 30 mm et de leur quantité, montre une croissance des extrêmes pluviométriques dans les stations étudiées. Cette augmentation des valeurs extrêmes pourrait engendrer des effets néfastes sur les sols et sur les cultures.

Figure 22a : Occurrence annuelle du nombre de jours de pluies supérieures à 30 mm à Aribinda (1991-2010)



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Figure 22b : Occurrence annuelle du nombre de jours de pluies supérieures à 30 mm à Gorom-Gorom (1991-2010)



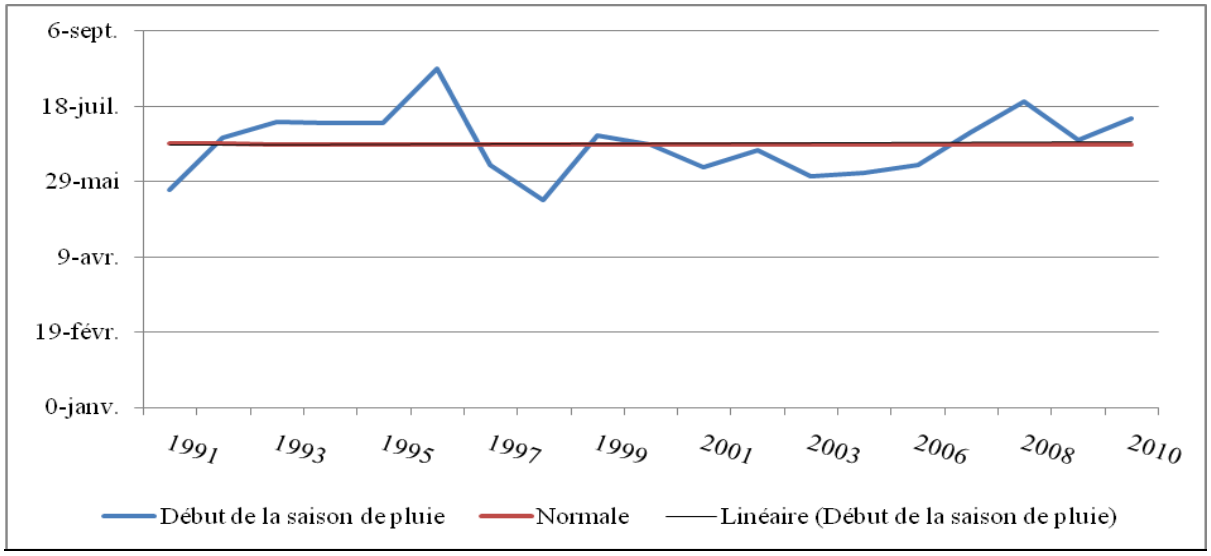
Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

En plus du SPI et de l'occurrence des extrêmes pluviométriques annuels, la durée de la saison des pluies qui est un paramètre très déterminant pour la réussite d'une campagne agricole est analysée. La caractérisation de la durée de la saison nécessite la détermination de la date du début et de celle de la fin de la saison.

3.3.1.4 Evolution de la date du début de la saison des pluies

La représentation graphique de la date du début de la saison révèle une variabilité entre 1991 à 2010 (Figures 23a et 23b). La variation entre les dates va du 17 mai (1998) au 12 août (1996), et du 27 mai (2005) au 26 juillet (2008) respectivement pour la station d'Aribinda et de Gorom-Gorom. La différence de ces variations est de 87 jours pour Aribinda et de 60 pour Gorom-Gorom. En moyenne, la date de début de la saison est 15 juin pour Aribinda et 1er juillet pour Gorom-Gorom. La tendance est stable à Aribinda et en baisse à Gorom-Gorom avec un coefficient $r^2 = 0,195$ qui signifie une faible diminution. Cette stabilité et baisse de la tendance indiquent un début précoce de la saison. Dans 20% des cas, c'est-à-dire une année sur 5, la date du début est antérieure ou égale au 2 juin pour Aribinda et au 18 juin pour Gorom-Gorom (Tableau 7). Autrement dit, 4 années sur 5, la date du début de la saison est postérieure au 2 juin à Aribinda et au 18 juin à Gorom-Gorom. L'analyse de l'évolution de la date de début de la saison des pluies montre une grande variabilité interannuelle qui pourrait avoir des perturbations sur le calendrier des cultures pluviales. La droite de tendance et des probabilités montre un début précoce pour le cas du Sahel ; ce qui, en principe, pourrait être favorable à une bonne campagne agricole en cas de bonne répartition pluviométrique, et une fin tardive des pluies (2 septembre pour Aribinda et 18 septembre pour Gorom-Gorom).

Figure 23a : Evolution de la date du début de la saison des pluies à Aribinda (1991-2010)



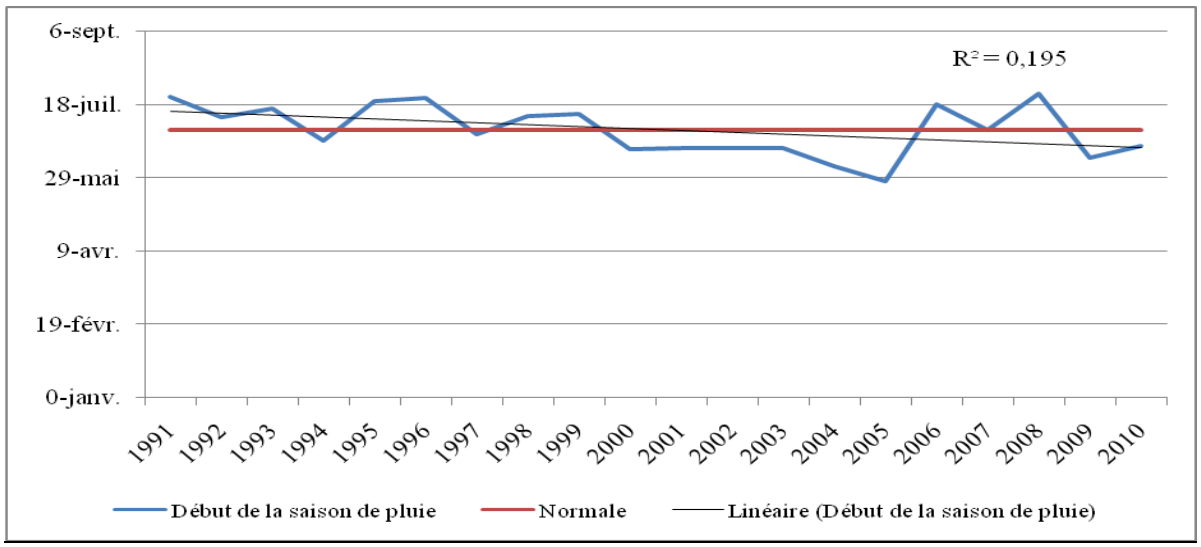
Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Tableau 7 : Probabilité de la date du début de l'hivernage à Aribinda et Gorom-Gorom

	Probabilité date de début de saison			
Station	Valeur moyenne	20%	50%	80%
Aribinda	15-juin	2-juin	24-juin	7-juil.
Gorom-Gorom	1-juil.	18-juin	29-juin	21-juil.

Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Figure 23b : Evolution de la date du début de la saison des pluies à Gorom-Gorom (1991-2010)

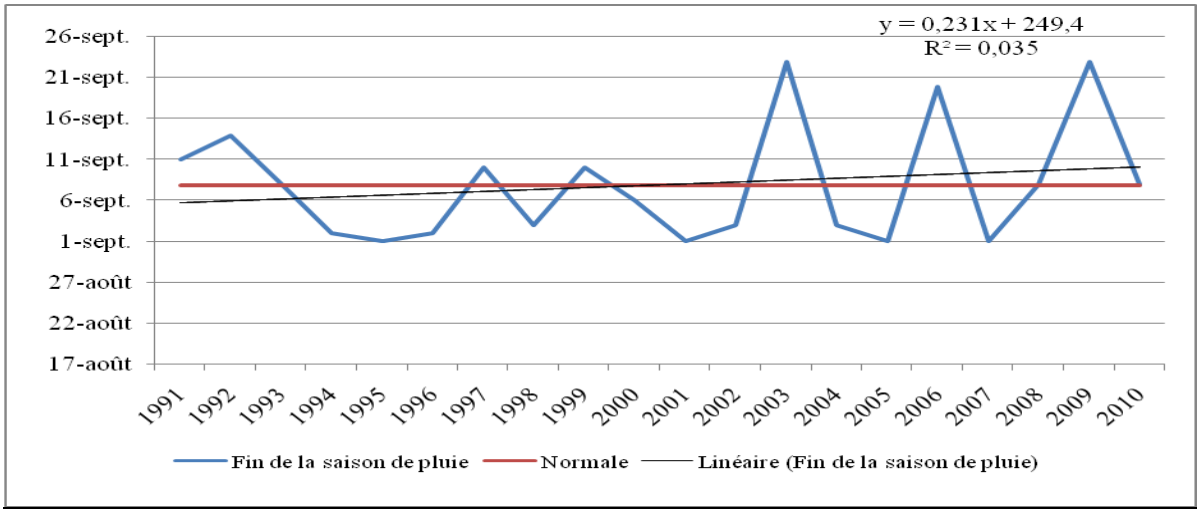


Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

3.3.1.5 Evolution de la date de la fin de saison des pluies

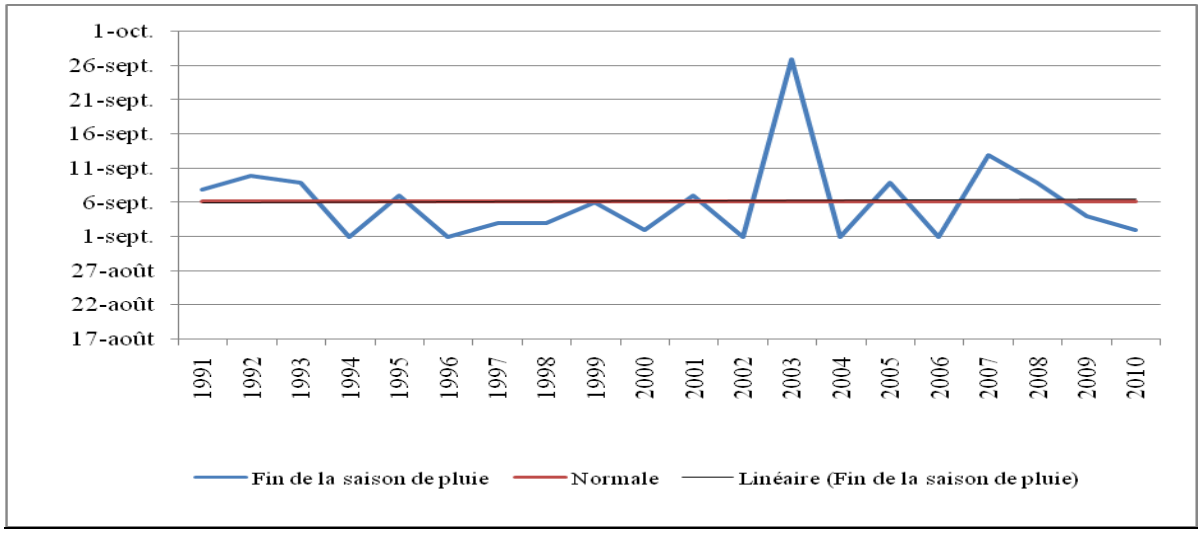
Les graphiques 24a et 24b, montrent l'évolution de la date de fin de la saison des pluies de 1991 à 2010. On constate une fluctuation de la date d'une année à l'autre. La variation va du 1er au 23 septembre pour la station d'Aribinda et du 1er au 27 septembre pour celle de Gorom-Gorom. L'amplitude de variation est de 22 et 26 jours respectivement pour Aribinda et Gorom-Gorom. La moyenne de la date de fin de l'hivernage est le 8 septembre à Aribinda et 6 septembre à Gorom-Gorom. La droite de tendance montre un faible accroissement à Aribinda (avec un r^2 = 0,035 qui est peu significatif) et une constance à Gorom-Gorom. Dans 80% des cas c'est-à-dire 4 années sur 5, la date est antérieure ou égale au 13 septembre à Aribinda et au 9 septembre à Gorom-Gorom (Tableau 8). En considérant les droites de tendance, on peut déduire qu'il y a moins de variation de la date de fin de saison et qu'elle serait aussi de plus en plus tardive. Ce constat a aussi été fait dans une étude similaire réalisée au Niger (Hess *et al.*, 1995). Les probabilités de la date de fin de saison montrent également une fin tardive de la saison au Sahel. L'amplitude de la date de fin de saison des deux stations est courte par rapport à celle du début de la saison.

Figure 24a : Evolution de la date de la fin de la saison des pluies à Aribinda (1991-2010)



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Figure 24b : Evolution de la date de fin de saison à Gorom-Gorom (1991-2010)



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Les résultats d'études sur l'évolution de la date du début et de la fin de la saison d'hivernage (1990-2010) sont difficilement comparables avec ceux des études similaires réalisées dans le Sahel, du fait de leur intervalle de temps considéré, qui est généralement grand (4 ou 5 dernières décennies) et de ce fait, certaines valeurs extrêmes peuvent biaiser les résultats (Ozer *et al.* 2009).

Tableau 8 : Probabilité de la date de fin d'hivernage à Aribinda et Gorom-Gorom

	Probabilité de fin de saison des pluies			
Station	Valeur moyenne	20%	50%	80%
Aribinda	8-sept.	1-sept.	7-sept.	13-sept.
Gorom-Gorom	6-sept.	1-sept.	5-sept.	9-sept.

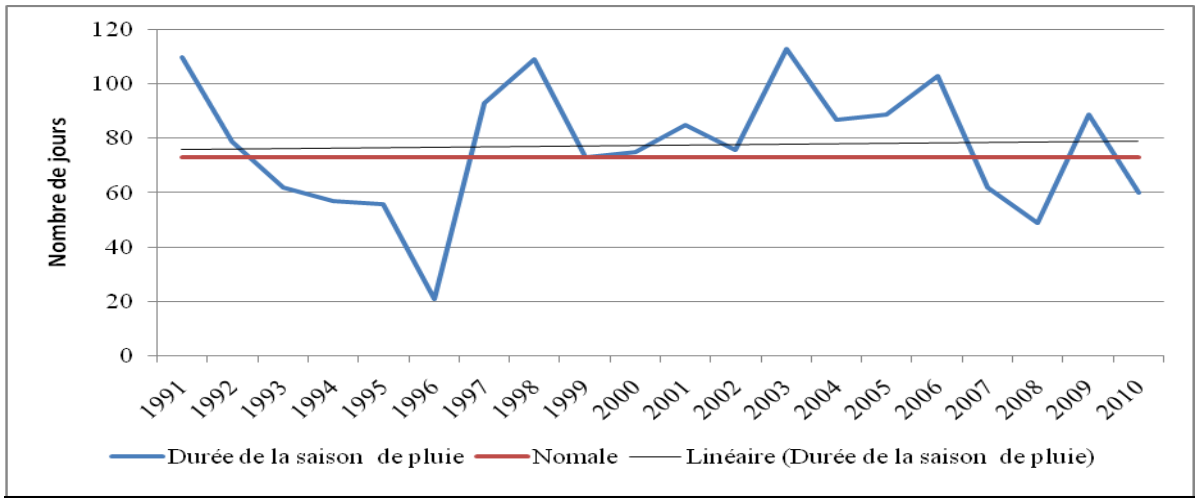
Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

3.3.1.6 Evolution de la durée de la saison des pluies

Les résultats de l'analyse de la longueur de la saison pluvieuse dans les stations d'Aribinda et de Gorom-Gorom sont représentés dans les graphiques 25a et 25b. La droite de tendance de la durée de 1991 à 2010 est faiblement en croissance pour la station d'Aribinda, et beaucoup plus forte pour celle de Gorom-Gorom. La durée minimale est de 21 jours (1996) et la maximale de 113 (2003) à Aribinda. Pour la station de Gorom-gorom, la valeur minimale de

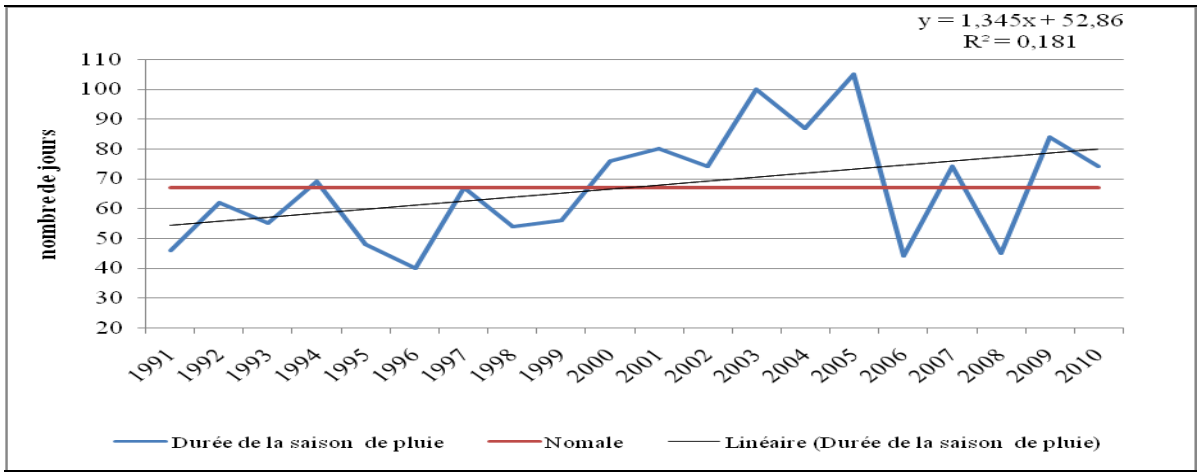
la longueur est 40 jours (1996) et la maximale, 100 jours (2003). L'amplitude de variation est de 92 jours pour Aribinda et 60 pour Gorom-Gorom. La durée moyenne de la saison est de 73 et 67 jours respectivement pour Aribinda et Gorom-Gorom. L'analyse de la durée de la saison montre une très forte variabilité d'une année à l'autre ; ce qui pourrait avoir des effets néfastes sur la productivité des cultures pluviales bien que la droite de tendance soit croissante.

Figure 25a : Evolution de la durée de la saison des pluies à Aribinda (1991-2010)



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Figure 25b : Evolution de la durée de la saison des pluies à Gorom-Gorom (1991-2010)



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

L'analyse de l'évolution des paramètres que sont, le cumul annuel de précipitation calculé avec le SPI, le nombre de jours pluvieux dans l'année, la date du début et de la fin de saison,

et la durée de la saison des pluies montrent une forte variabilité inter annuelle. Cependant les tendances générales révèlent dans l'ensemble, une hausse ou une stabilité des valeurs de ces paramètres pluviométriques entre 1990 et 2010, avec un accroissement des pluies extrêmes de 30 mm. Cela signifie une bonne condition pluviométrique dans ces deux stations. Ce constat a conduit à chercher à savoir si la répartition de la pluviométrie est homogène tout au long de la saison de l'hivernage, d'où l'analyse intra saisonnière de ces différents paramètres.

3.3.2 Variabilité intra-saisonnière des paramètres pluviométriques

L'analyse des paramètres pluviométriques intra-saisonniers est caractérisée par la détermination des périodes utiles pour les cultures, la répartition des pluies extrêmes entre les mois du début et de fin de saison, l'évolution du nombre de jours secs et les séquences sèches maximales du mois d'août qui correspond à la période de croissance maximale des végétaux.

3.3.2.1 Détermination des périodes utiles pour les cultures

Les résultats de l'analyse des courbes de Franquin et Cochème de 1991 à 2010 pour la station d'Aribinda et Gorom-Gorom sont représentés dans les graphiques en annexe (Annexes 2a et 2b). Ces résultats indiquent que 90 et 65% des périodes humides respectivement à Aribinda et à Gorom-Gorom, commencent par un ou deux faux départs de la saison d'hivernage. Les entretiens sur le terrain montrent que beaucoup de paysans sèment dès les premières pluies. Les faux départs de la saison pourraient donc entraîner des bouleversements pour les semis et conduire inévitablement à des reprises de semis.

Les diagrammes de fréquence (Figures 26a et 26b) présentent les dates de début et de fin des différentes périodes d'hivernage des courbes de Franquin et Cochème. Le début de la période pré-humide commence en général dans 35% des cas, au cours de la troisième décade du mois

de juin pour la station d'Aribinda. Elle commence dans 30% des cas au cours de la première décade du mois de juillet à Gorom-Gorom. Cette date correspond au début des semis. On note aussi que dans 20% des cas, la période pré-humide commence dans la troisième décade de juillet à Aribinda, et dans 20% des cas, elle débute au cours de la deuxième décade de juin à Gorom-Gorom. Ces résultats montrent une grande fluctuation de la période pré-humide, marquée par de faux départs de saison dès la première et la deuxième décade du mois de juin à Gorom-Gorom (Figure 26b). Il y a donc une variabilité du début de la période pré-humide, qui corrobore celle du début de la saison dans le sous-titre 3.3.1.4 de ce chapitre. Cependant, l'analyse révèle en général, une différence de 2 décades entre la détermination de la date de début de la saison par la méthode AGRHYMET, et celle de la date de début des semis par les courbes de Franquin et Cochème. Cela implique que le deuxième cas de figure semble être plus indiqué pour la planification du début des activités agricoles que la date moyenne du début de la saison, habituellement considérée.

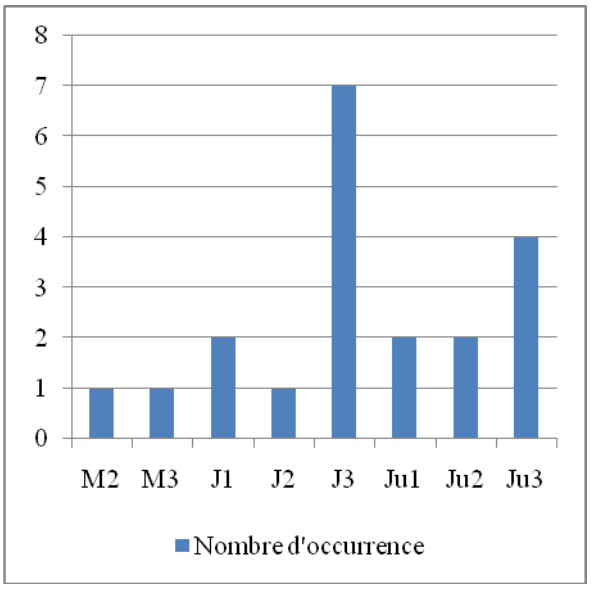
La date de début de la période humide quant à elle commence lors de la troisième décade du mois de juillet dans 30% des cas à Aribinda et de la deuxième décade du même mois à Gorom-Gorom dans 25% des cas. L'installation de la période humide à ces dates est favorable pour le mil, mais elle reste variable surtout à Aribinda car dans 25% des cas, elle débute au cours da la 1ère décade de juillet. La date de début de la période humide correspond à la fin des semis. La période de semis s'étale donc entre la date du début de la période pré-humide et la date de début de la période humide. Cela permet de montrer que pour la zone d'Aribinda, il y a en général, un mois pour les semis et pour Gorom-Gorom il y a 2 décades pour les semis. La période post-humide commence en général, dans les deux stations au cours de la deuxième décade du mois d'août dans 37% des cas à Aribinda et dans 26% des cas à Gorom-Gorom. Elle commence aussi à Gorom-Gorom dans 21% des cas lors de la troisième décade du mois d'août et de même pour la première décade du mois de septembre. Cette période est donc

variable à Gorom-Gorom. La diminution de la pluie en mi-août à Aribinda alors que les semis commencent dans la troisième décade de juin (donc après 2 mois de pluie à Aribinda, et 5 décades à Gorom-Gorom) pourrait occasionner un stress hydrique pour les cultures en période de croissance et fructification.

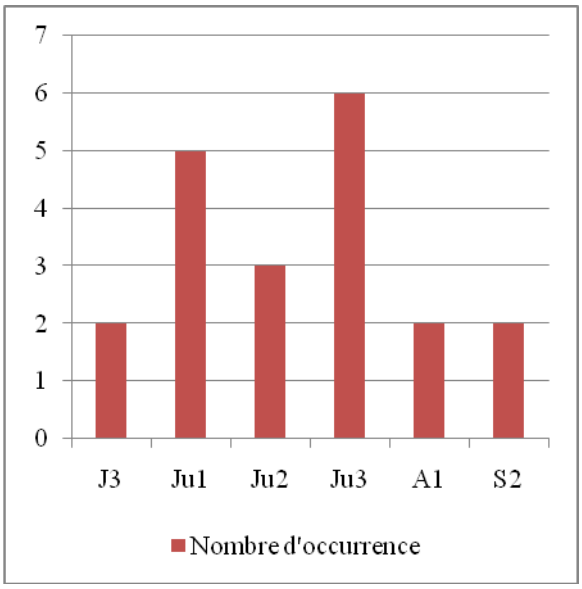
La fin de la saison utile intervient dans 32% des cas au cours de la 1ère et de la deuxième décade du mois de septembre à Aribinda. A Gorom-Gorom, la saison utile s'achève dans 47% des cas dès la première décade de septembre.

Figure 26a : Fréquence des décades arrosées et détermination de la période humide utile à Aribinda

Début de la période préhumide

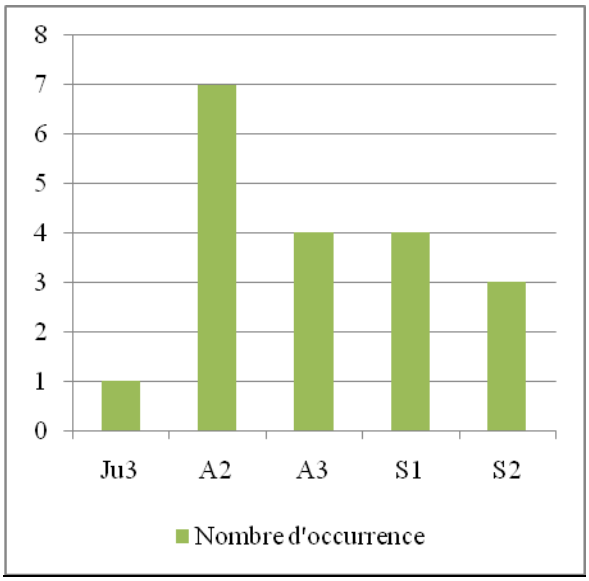


Début de la période humide

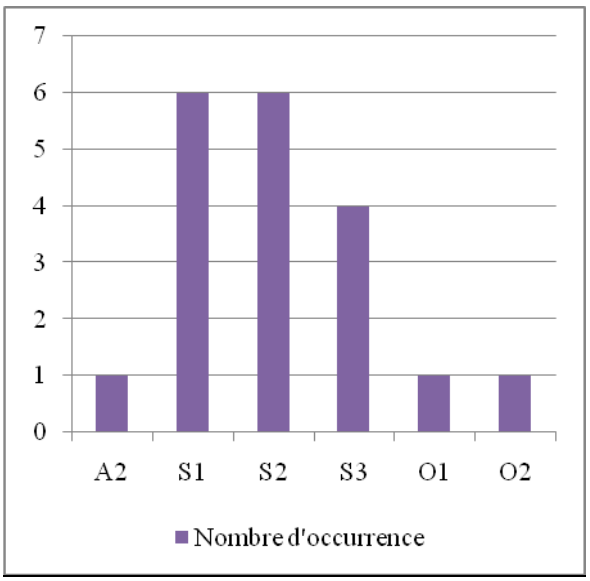


Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Début de la période post humide



Fin de la période utile

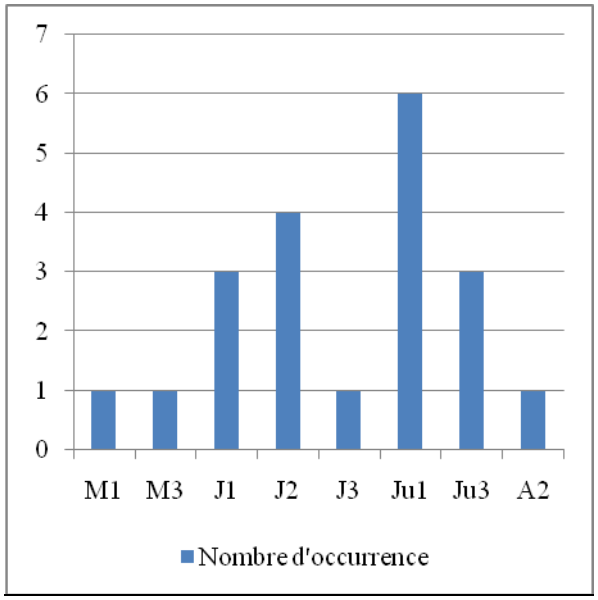


Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

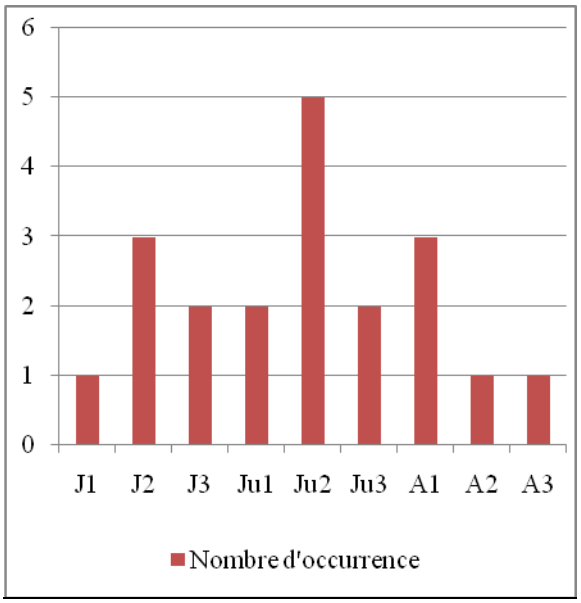
NB : le nombre d'occurrences est donné par décade de mai à octobre

Figure 26b : Fréquence des décades arrosées et détermination de la période humide utile à Gorom-Gorom

Début de la période préhumide

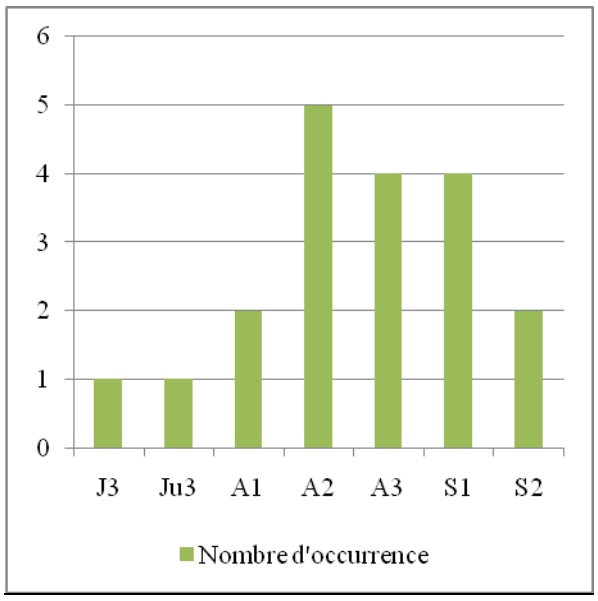


Début de la période humide

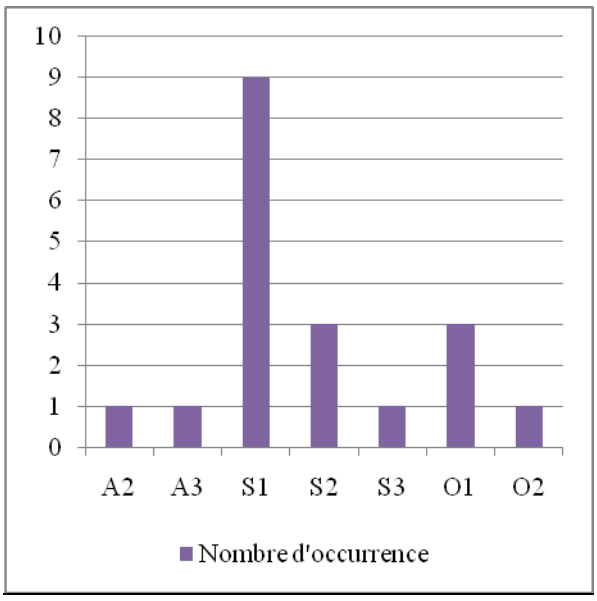


Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Début de la période post humide



Fin de la période utile



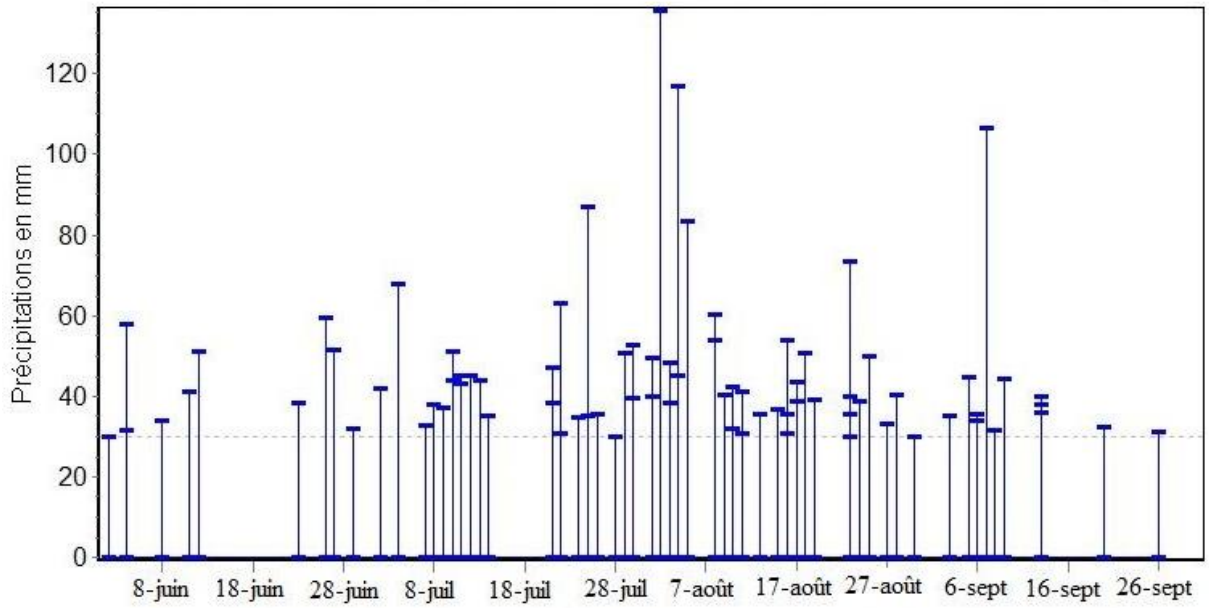
Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

NB : le nombre d'occurrences est donné par décade de mai à octobre

3.3.2.2 Répartition intra-saisonnière des pluies journalières extrêmes

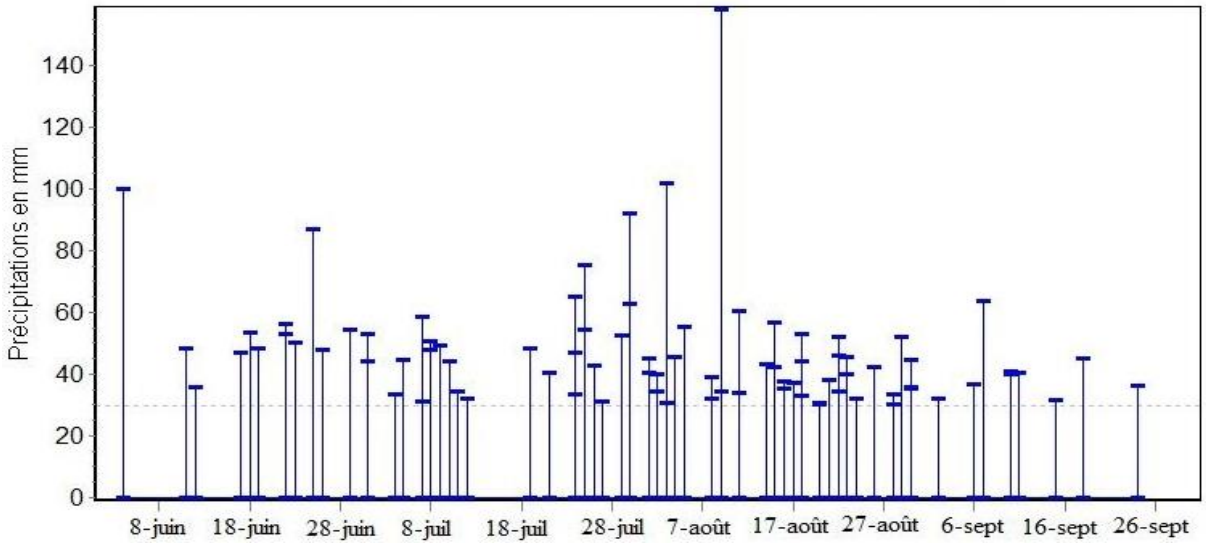
Les diagrammes 27a et 27b présentent les précipitations extrêmes journalières de plus de 30 mm des stations d'Aribinda et Gorom-Gorom entre 1991 et 2010. Ces pluies extrêmes sont visibles dans la dernière décade du mois de juin et la première décade du mois de juillet. On constate que les mois de juillet et d'août sont marqués en majorité par 2 à 3 jours de pluies extrêmes qui dépassent souvent 60 mm. En septembre, on note aussi des pluies extrêmes, surtout dans la première décade. Quelques fortes pluies sont observées aussi en fin septembre. L'avènement des pluies extrêmes en début de saison pourrait entrainer un départ de terres nues et fertiles ameublis pour les semis par les eaux de ruissellement; et entraîner également une asphyxie des plantules ou des semis en germination par le recouvrement des terres charriées et déposées par ces eaux. Une étude similaire réalisée dans la partie septentrionale du Nigeria au nord de la latitude 11° aboutit également au fait que les extrêmes pluviométriques surviennent en août et septembre (Tarhule *et al.*, 1998).

Figure 27a : Occurrence des pluies journalières supérieures à 30 mm à Aribinda (1991-2010)



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Figure 27b : Occurrence des pluies journalières supérieures à 30 mm à Gorom-Gorom (1991-2010)

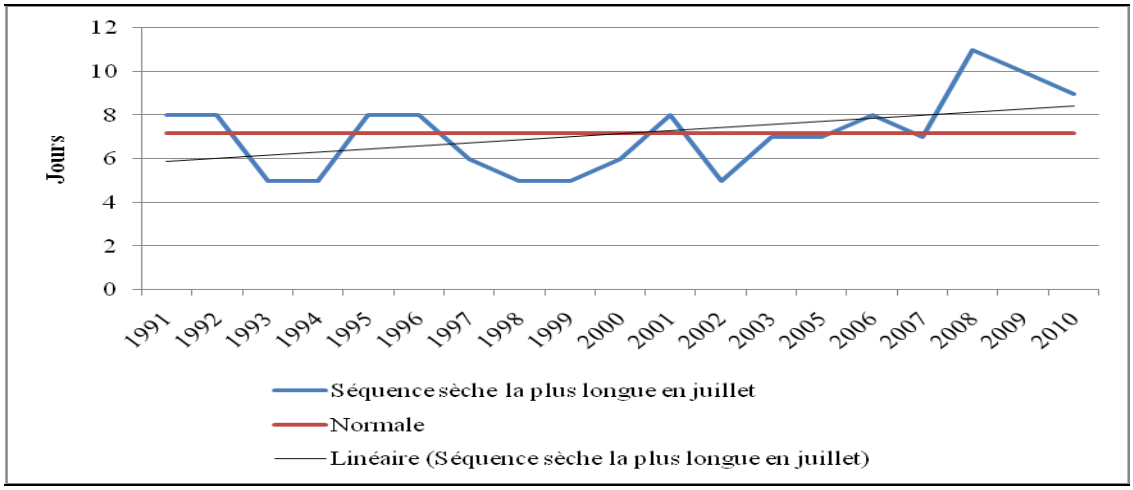


Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

3.3.2.3 Evolution de la séquence sèche maximale

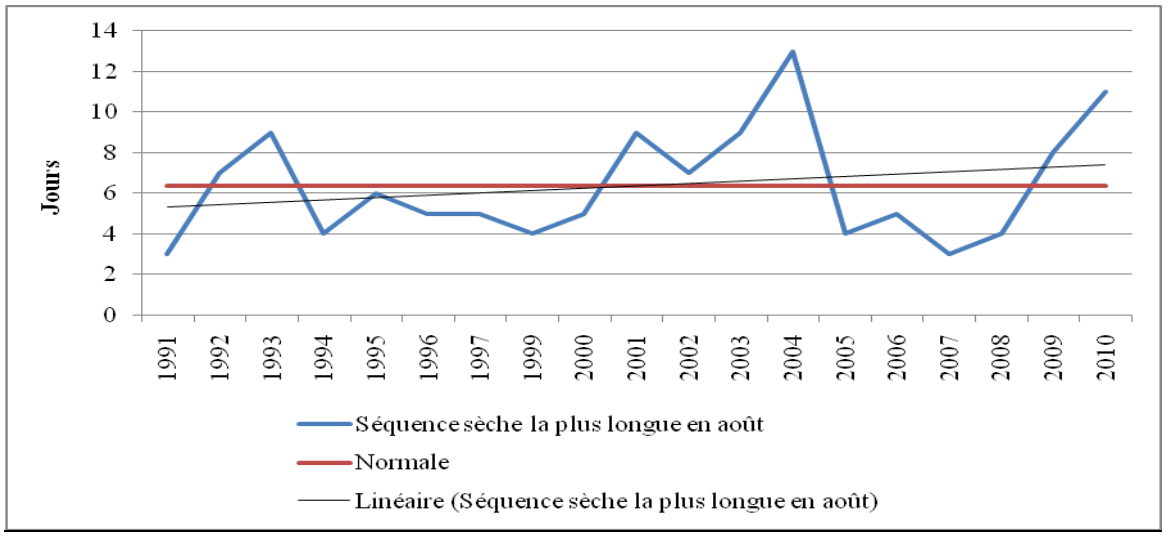
Les résultats d'analyse de la séquence sèche maximale de ces 20 dernières années montre une tendance à la hausse en juillet et en août dans la station d'Aribinda (Figures 28a et 28b). A Gorom-Gorom, c'est seulement le mois d'août qui connaît une hausse annuelle (Figure 28c). La moyenne de la séquence sèche maximale en août est de 6 jours à Aribinda et de 7 à Gorom-Gorom.

Figure 28a : Evolution de la séquence sèche maximale en juillet à Aribinda (1991-2010)



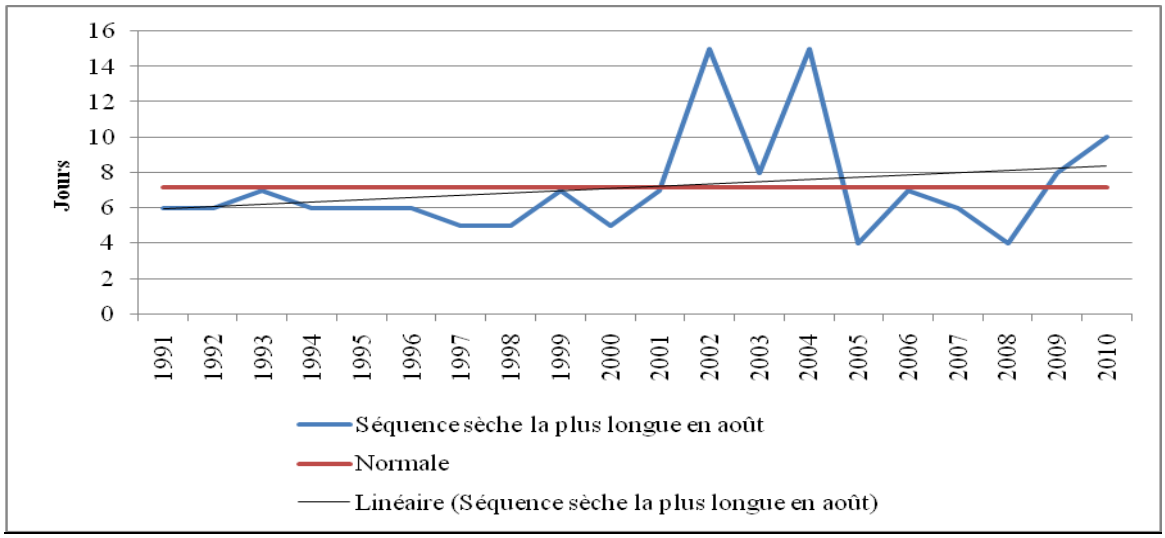
Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Figure 28b : Evolution de la séquence sèche maximale en août à Aribinda (1991-2010)



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Figure 28c : Evolution de la séquence sèche maximale en août à Gorom-Gorom (1991-2010)



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

La probabilité d'avoir des séquences sèches supérieures à 6 jours en juillet est de 60% à Aribinda et 70% à Gorom-Gorom (Tableaux 9 et 10). Pour le mois d'août, on observe une probabilité de 75% d'avoir une séquence sèche supérieure à 5 jours à Gorom-Gorom. Cette augmentation de la séquence sèche au cours du mois d'août pourrait avoir des conséquences sur la croissance des végétaux.

Tableau 9 : Probabilité de séquence sèche maximale de juillet et août à Aribinda

	Probabilité de séquence sèche supérieure en pourcentages		
Mois	**à 5jours**	**à 6 jours**	**à 7jours**
Juillet	70	60	45
Août	45	40	30

Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Tableau 10 : Probabilité de séquence sèche maximale de juillet et août à Gorom-Gorom

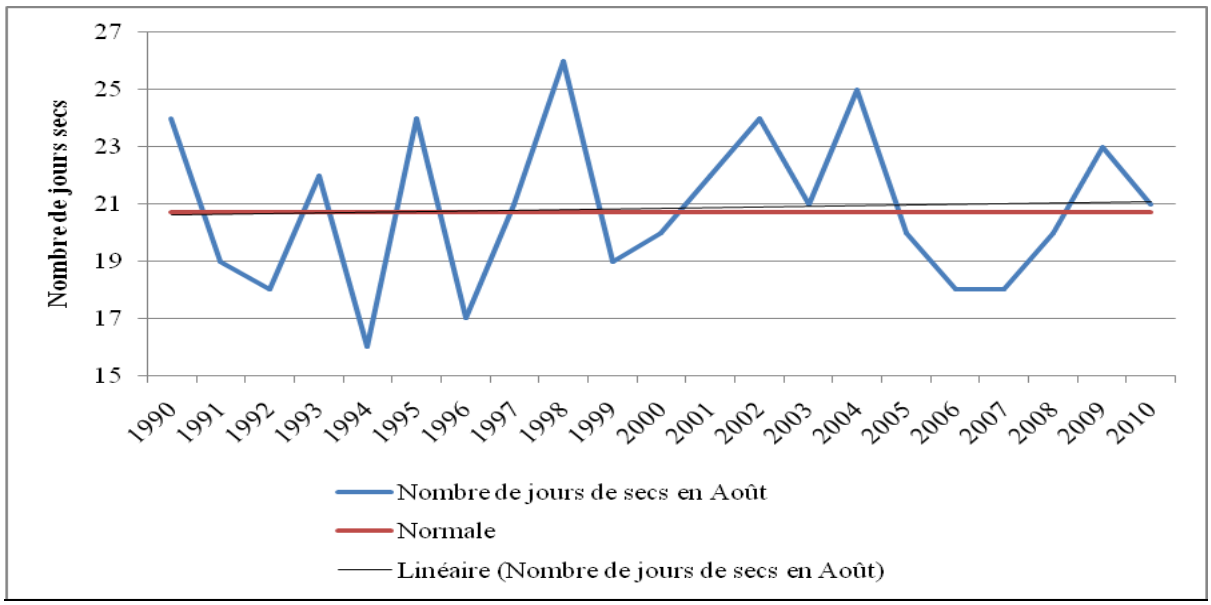
	Probabilité de séquence sèche supérieure en pourcentages		
Mois	**à 5jours**	**à 6 jours**	**à 7jours**
Juillet	90	70	50
Août	75	45	25

Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

3.3.2.4 Evolution du nombre de jours secs

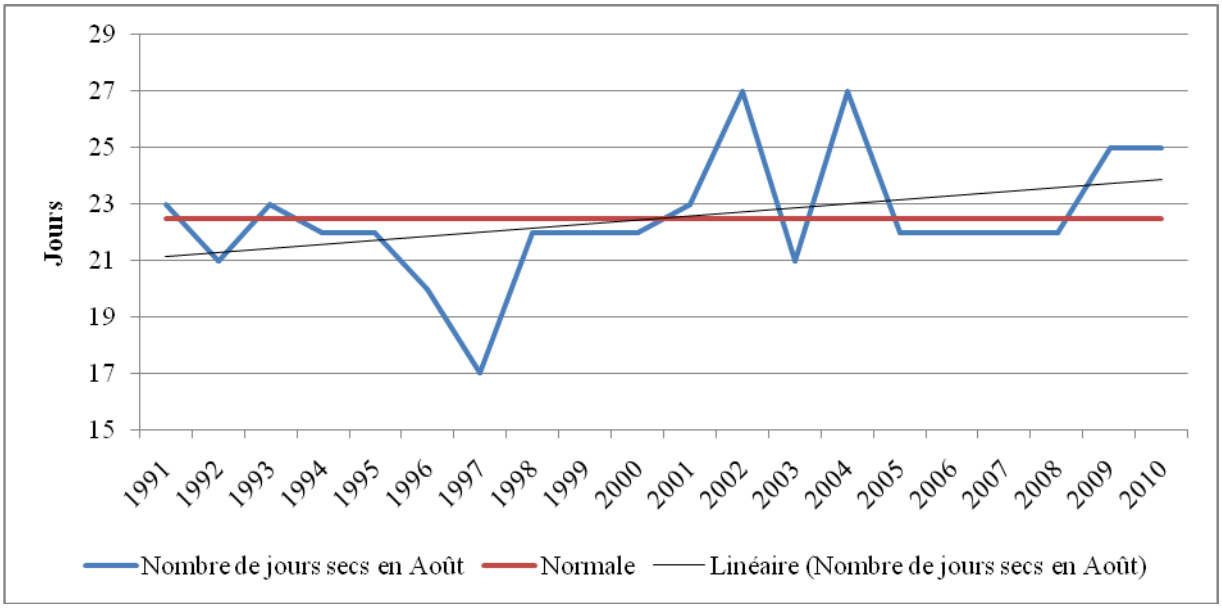
L'évolution du nombre de jours secs du mois d'août de 1990 à 2010 de la station d'Aribinda et de Gorom-Gorom est représentée dans les figures 29a et 29b. L'analyse du nombre de jours secs en août montre une tendance à la hausse dans les deux stations durant la même période. Cette augmentation traduit une aridité du mois d'août qui peut conduire à une faible disponibilité de l'eau pour la végétation. La caractérisation de la saison des pluies en termes d'événements pluvieux est souvent plus critique que le simple cumul annuel pluviométrique. La sécheresse se traduit surtout par une baisse d'occurrence de pluies au cœur de la saison d'hivernage particulièrement en août, et non pas par l'amplitude. Cette assertion est soutenue par les résultats de nombreux travaux de recherche réalisés au Sahel (Le-Barbé *et al.*, 1997; D'Amato *et al.*, 1998; Tarhule *et al.*, 1998; Balme *et al.*, 2006; Frappart *et al.*, 2009).

Figure 29a : Evolution du nombre de jours secs à Aribinda



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Figure 29b : Evolution du nombre de jours secs à Gorom-Gorom



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

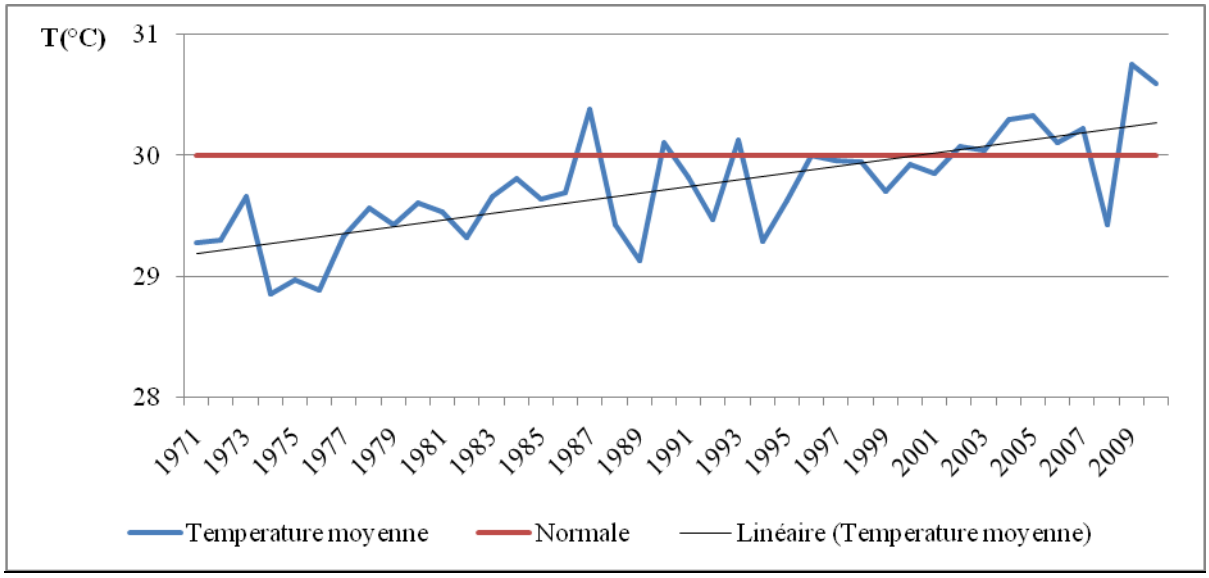
3.4 VARIABILITE INTERANNUELLE D'AUTRES PARAMETRES CLIMATIQUES

En plus de la pluviométrie, les autres paramètres climatiques déterminants au Sahel sont les températures et les vents ainsi que l'évapotranspiration et l'humidité relative.

3.4.1 Evolution des températures et des vents

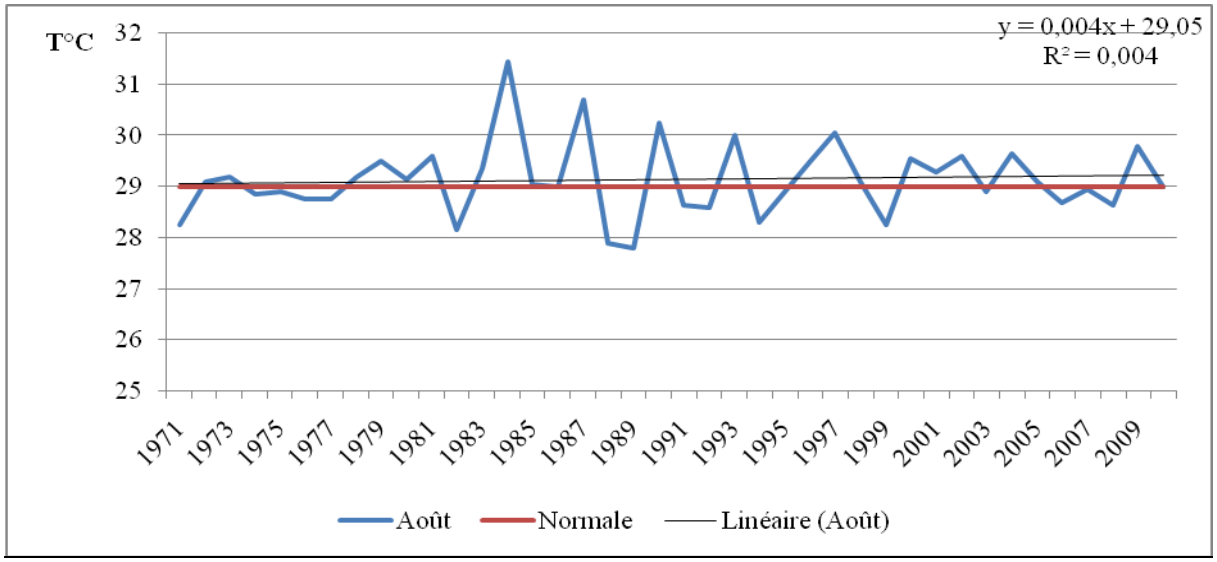
D'après les données de la station de Dori, les températures moyennes annuelles de la zone d'étude, pour la période de 1971 à 2010, sont relativement constantes et élevées (30° C). Les écarts thermiques annuels sont faibles (2° C). La droite de tendance est croissante (Figure 30). On constate que la droite de tendance des températures moyennes annuelles durant le mois d'août est aussi à la hausse pour la même période (Figure 31). Cette augmentation de la température dans le mois d'août, mois le plus pluvieux, pourrait engendrer de fortes évaporations et évapotranspirations des plans d'eau et des végétaux, conduisant à un stress hydrique (Delire *et al.*, 2008).

Figure 30 : Evolution interannuelle de la température moyenne de Dori de 1971 à 2010



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Figure 31 : Evolution interannuelle de la température moyenne du mois d'août de 1971 à 2010 (station de Dori)



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

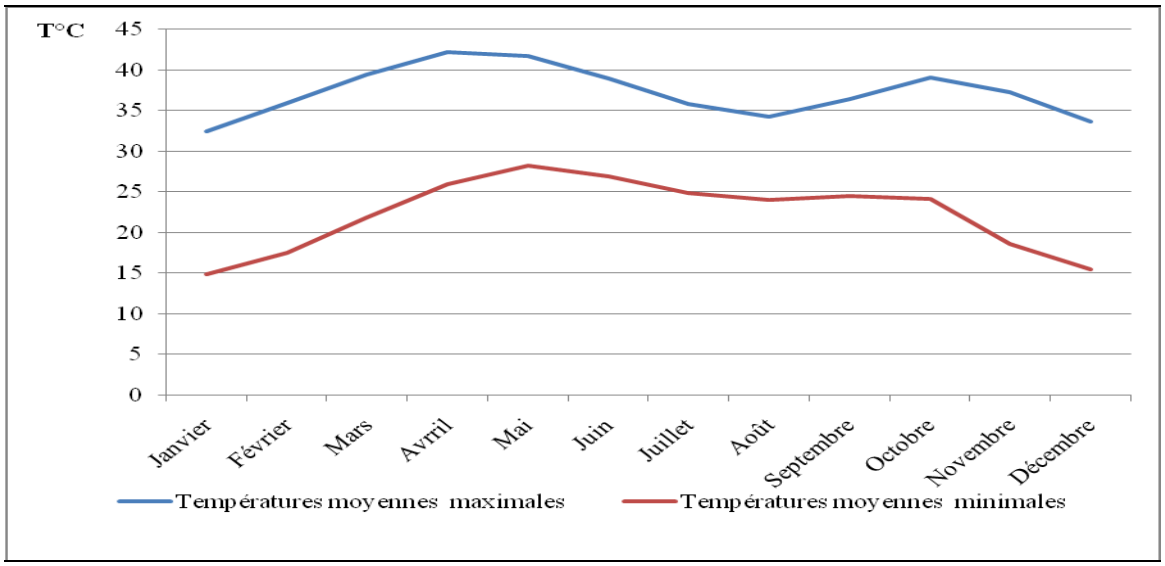
Le régime de température de la zone d'étude (station de Dori) est bimodal (Figure 32). Les écarts thermiques moyens mensuels sur la période de 1971 à 2010 sont remarquables (11° C) en mai, mois le plus chaud et janvier, mois le plus frais.

Les courbes de l'évolution mensuelle des températures moyennes de 1971 à 2010, permet de distinguer quatre périodes:

- de novembre à février, on a une période fraîche avec des températures minimales moyennes de 14,9° C (janvier) et des maxima de 37° C (novembre). Le mois de janvier est la période la plus fraîche de l'année ;
- de mars à juin, on a la période la plus chaude de l'année. Les températures maximales moyennes sont de 42° C (avril et mai) et les minima moyens, de 22° C (mars). Le mois de mai est en général, le mois le plus chaud (38,6° C) ;
- de juillet à août on a une seconde période fraîche, qui correspond à la saison des pluies. Les températures minimales moyennes sont de 24° C (août) et les maxima, 36° C (juillet).

- et enfin, de septembre à octobre, on a la seconde période de chaleur. Elle correspond à la fin des pluies. Les températures maximales moyennes sont de 39° C (octobre) et les minima de 21° C (octobre).

Figure 32 : Evolution des températures moyennes mensuelles maximales et minimales de Dori de 1971 à 2010



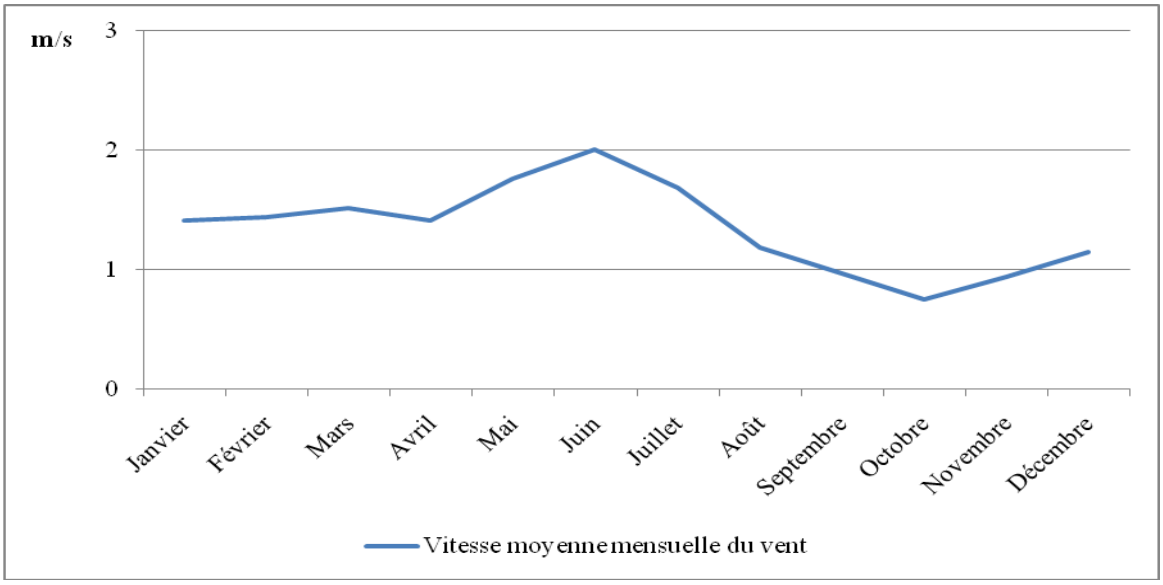
Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

Dans la zone d'étude (au Sahel), le régime du vent au sol est lié à celui de deux types de vents avec deux directions prédominantes :

- la direction nord-est correspondant à l'alizée continental (harmattan) qui souffle de novembre à avril avec des vents d'une vitesse moyenne de 1 m/s ;

- et la direction sud-ouest correspond à l'alizée maritime « mousson » qui apporte un flux d'air humide de mai à octobre. C'est durant cette période que la saison des pluies s'installe. La vitesse moyenne des vents est de 2 m/s (Figure 33).

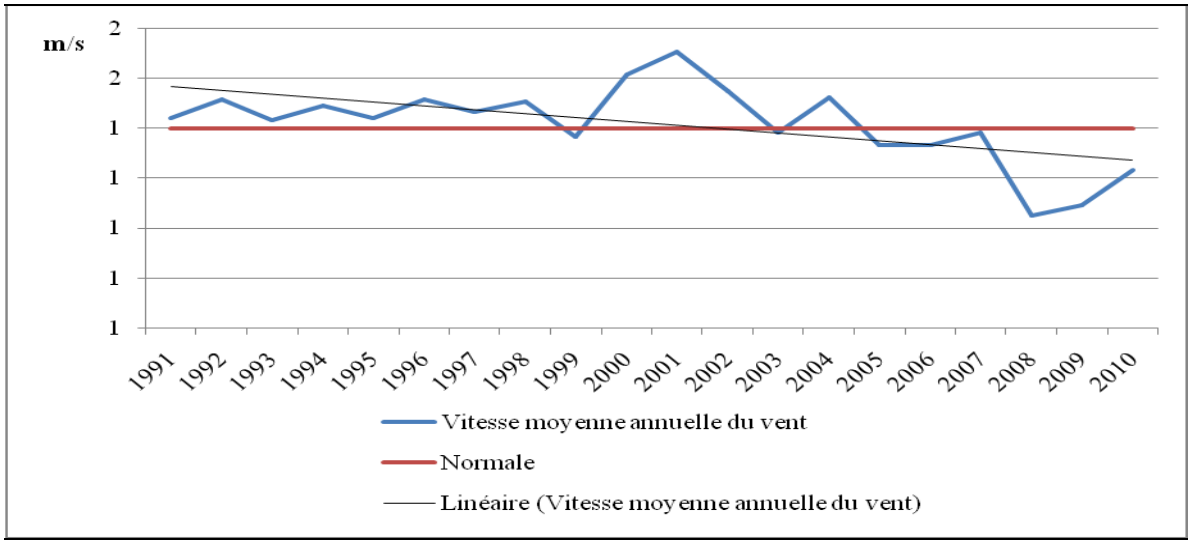
Figure 33 : Evolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent à Dori (1971-2010)



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

L'évolution interannuelle de la vitesse du vent entre 1991 et 2010 varie également (Figure 34). La courbe de tendance des moyennes annuelles est à la baisse. Les fortes vitesses sont surtout observées dans la dernière décennie avec une moyenne de 2 m/s en 2000 et 2001.

Figure 34 : Evolution interannuelle de la vitesse moyenne du vent de la station de Dori de 1991 à 2010



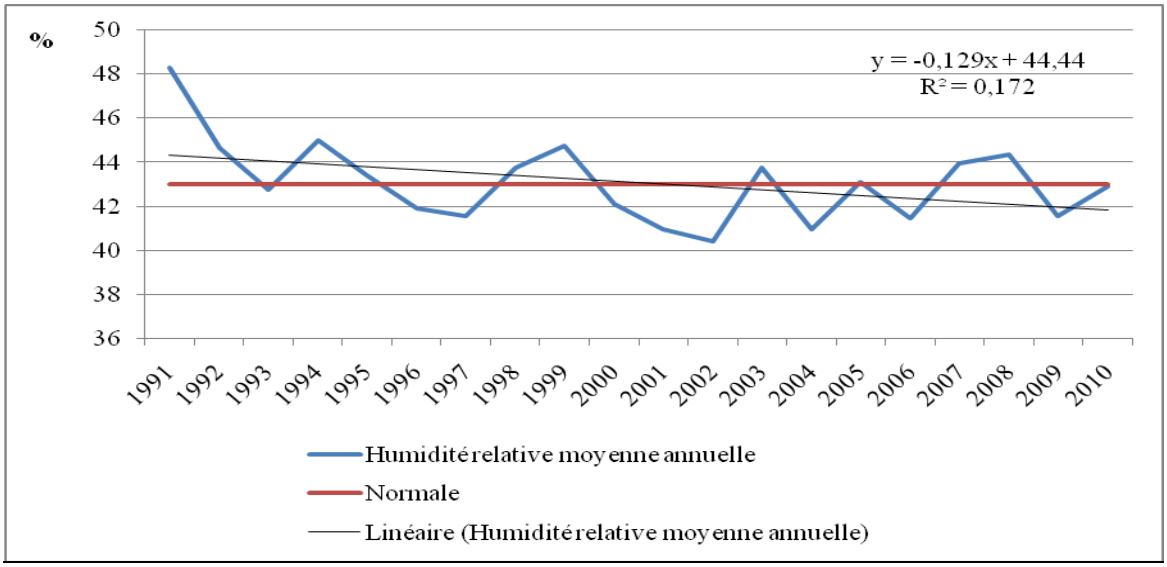
Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

De par la variabilité de son intensité notamment en début et fin de la saison d'hivernage, le vent dans les milieux sableux peut devenir un agent nuisible pour l'agriculture. Ses effets sur le milieu peuvent affecter les sols, conduisant à une érosion plus ou moins importante selon leur structure et leur texture. La perte en terre fine engendre un appauvrissement du sol et contribue de ce fait à la baisse de la fertilité, puisque celle-ci renferme l'essentiel des éléments nutritifs liés aux argiles et à la matière organique.

3.4.2 Evolution de l'humidité et de l'évapotranspiration

Les résultats de l'analyse de l'évolution interannuelle de l'humidité relative moyenne sont représentés dans la figure 35. On constate une variabilité d'une année à l'autre. La plus grande valeur a été enregistrée en 1991 et la plus petite, en 2002. L'amplitude annuelle est de 8%. La droite de tendance de l'humidité relative est à la baisse. Ce qui signifie que l'air ambiant devient de plus en plus sec.

Figure 35 : Evolution interannuelle de la d'humidité relative moyenne de la station de Dori de 1991 à 2010

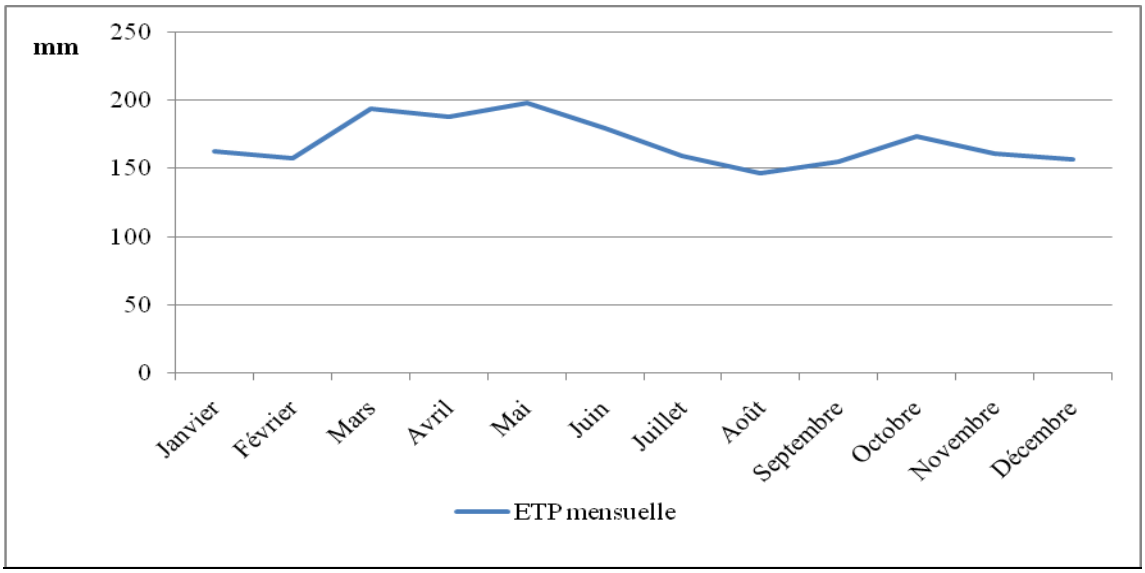


Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

L'évapotranspiration représente la quantité d'eau que le sol cède à l'atmosphère par suite de la transpiration de la couche végétale et de l'évaporation de la surface du sol. Elle dépend des facteurs climatiques comme la température et les apports énergétiques (Kaboré, 2001).

Dans la zone d'étude, les valeurs de l'ETP de 1971 à 2010 sont élevées durant les mois de mars, avril, mai et juin correspondant à la période la plus chaude de l'année (Figure 36). Les maxima sont observés en mai avec en moyenne 198 mm.

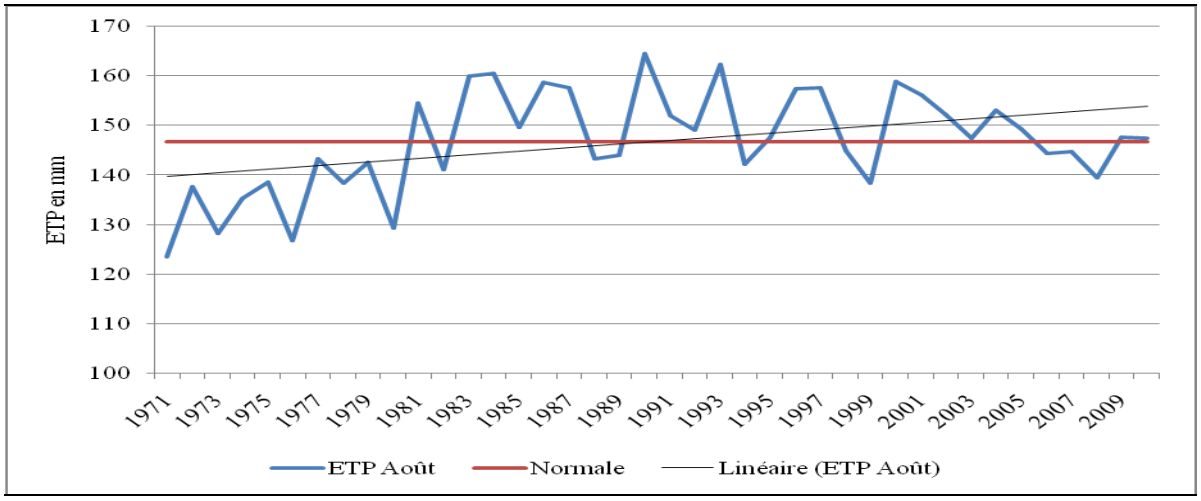
Figure 36 : Evolution mensuelle de l'évapotranspiration moyenne de la station de Dori de 1971 à 2010



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

L'évolution interannuelle de l'ETP durant le mois d'août de 1971 à 2010 montre une tendance à l'accroissement (Figure 37). Cette hausse de l'ETP peut traduire une faible disponibilité en eau pour la croissance des plantes. Plus elle sera élevée, plus l'efficacité de l'utilisation de l'eau sera affectée.

Figure 37 : Evolution interannuelle de la l'évapotranspiration moyenne du mois d'août de la station de Dori de 1971 à 2010



Source : Direction de la Météorologie Nationale (Burkina Faso), 2010

En somme, on peut retenir que dans la zone d'étude, l'analyse interannuelle et intra-saisonnière des différents paramètres climatiques, montre une grande variabilité. La tendance d'évolution des précipitations est à la baisse sur une longue série d'analyse. En considérant la période des vingt dernières années, la tendance de la pluviométrie est à la hausse. Les débuts de saisons de plus en plus précoces, sont marqués de faux départs de la saison et de pluies extrêmes. Les séquences sèches maximales et le nombre de jours secs sont croissants surtout dans le mois d'août. A cela, s'ajoute l'évolution interannuelle croissante des températures moyennes, la baisse de l'humidité relative et la hausse de l'évapotranspiration, surtout dans le mois d'août.

En plus de l'analyse de l'évolution des différents paramètres climatiques par l'utilisation des données météorologiques, une évaluation de l'évolution de ces différents paramètres est faite à travers les perceptions des populations locales qui vivent et expérimentent quotidiennement, les changements du climat de leur milieu, les influences de ces changements sur leur activités économiques ; et qui développent des ajustements pour s'adapter. L'analyse de la vision paysanne est faite dans le chapitre suivant.

CHAPITRE 4 : PERCEPTIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET STRATEGIES D'ADAPTATION

Pour appréhender la perception paysanne du changement et de la variabilité climatique, des interviews ont été menés dans le Nord du Burkina Faso. Dans ce présent chapitre, l'étude reconnaît l'importance d'appréhender la vision paysanne dans le contexte du changement lié au climat et la contribution de ces perceptions à l'adaptation au changement et à la variabilité climatique. Dans la littérature, il ressort que la vision paysanne joue un rôle central dans l'adaptation (Patt *et al.*, 2008; West *et al.*, 2008; Orlove *et al.*, 2010). Ce qui fait qu'il est primordial pour cette étude d'analyser dans la première section, la perception du changement et de la variabilité climatique. Dans la deuxième et la troisième sections, sont analysés respectivement, la perception des causes des changements climatiques et des impacts climatiques dont dépendront probablement les stratégies d'adaptation paysannes, évaluées dans la quatrième section.

4.1 PERCEPTIONS DU CHANGEMENT ET DE LA VARIABILITE CLIMATIQUES

Les principales perceptions des changements climatiques des trois villages échantillons se réfèrent à une évolution récente des 20 dernières années et concernent les précipitations, les températures et les vents.

4.1.1 Perceptions de l'évolution des paramètres climatiques

La perception paysanne de l'évolution de la pluviométrie porte sur les différents paramètres qui sont le début et la fin de la saison des pluies, la durée de la saison, la quantité des pluies, les poches de sécheresse, les fortes pluies (ou pluies extrêmes), et les inondations. Les résultats d'enquête sur la perception de l'évolution de la pluviométrie sont représentés dans les figures 38, 39 et dans le tableau 11.

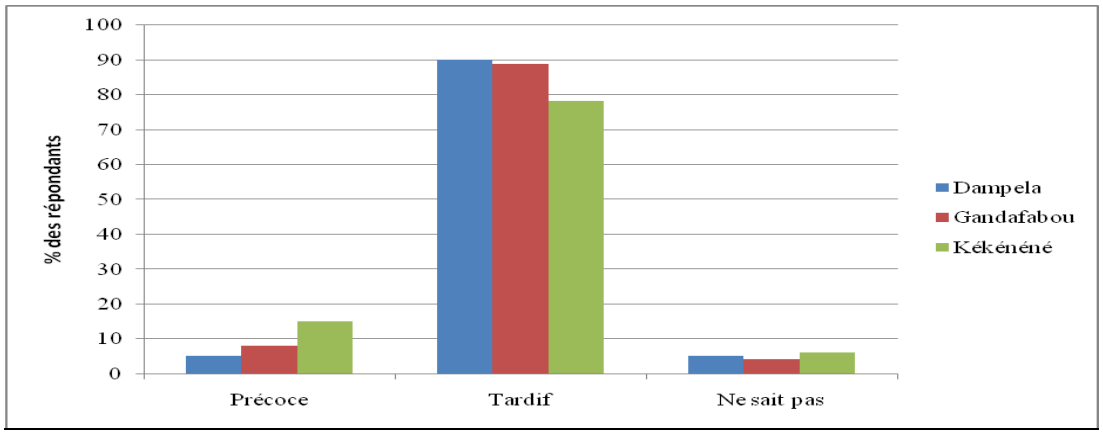
Plus de 70% des personnes interrogées des trois villages indiquent un début tardif de la saison des pluies soit 90% dans le village de Dampela, 89% à Gandéfabou Kelwélé et 78% à Kékénéné. Cependant, une faible proportion de la population (15%) mentionne un début précoce des pluies à Kékénéné (Figure 38). L'analyse de la perception de l'évolution du début de la saison, montre que les interlocuteurs des trois villages ont une très bonne conscience et sont en majorité unanimes sur l'évolution du début tardif de la saison des pluies. La vision paysanne du début tardif de la saison pourrait être influencée par les « faux départs de saison ». Cette vision des populations locales du début tardif de la saison est conforme avec l'analyse des données pluviométriques faite avec la courbe de Franquin et Cochème qui montre en majorité, une grande variabilité marquée par de « faux départs de saison » (voir chapitre 3). Cette même observation a été faite par les populations d'un village situé dans la même zone climatique au nord du Burkina Faso (Nielsen *et al.*, 2010a). Des études similaires réalisées dans des zones arides au nord du Nigeria et en Ethiopie corroborent les perceptions paysannes de débuts tardifs de pluies (Ayanwuyi *et al.*, 2010; Aberra, 2011).

La majorité de la population (plus de 90%) des trois villages perçoit une fin précoce de la saison des pluies (Figure 39). Cette perception est confirmée avec l'analyse de la pluviométrie par les courbes évènementielles de Franquin et Cochème, où dans la majorité des cas, la fin de la saison humide utile survient lors de la 1ère et la 2ème décade du mois de septembre.

La durée de la saison connaît une diminution ces 20 dernières années selon plus de 76% de la population de Dampela, et respectivement 80% et 73% de celle de Gandéfabou Kelwélé et Kékénéné (Tableau 11). Cette vision, en considérant le début tardif et la fin précoce de la saison mentionnés ci-dessus, est réaliste et corrobore l'analyse de la durée de la saison faite en chapitre 3. Une étude réalisée dans la même zone climatique du Burkina Faso, montre aussi une diminution de la durée de la saison observée par les populations locales (Nielsen *et al.*,

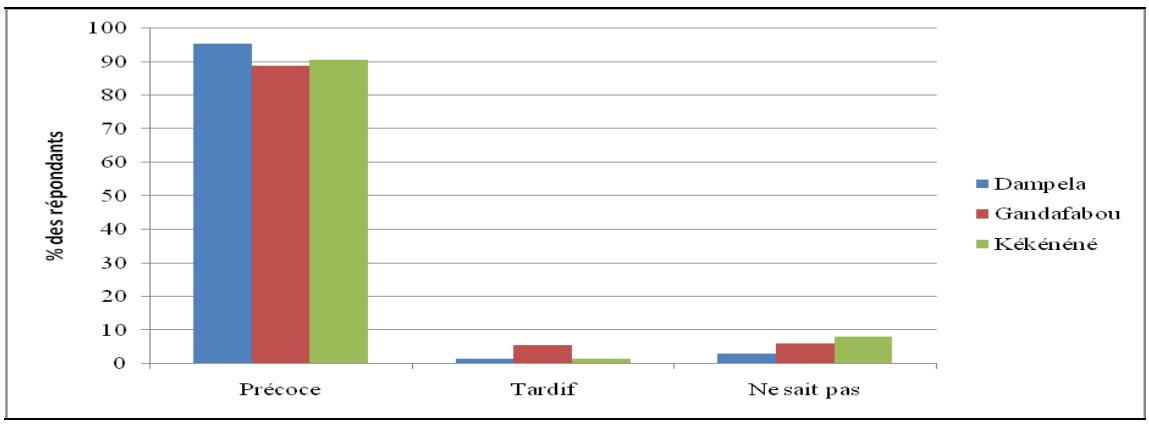
2010b). Les résultats de cette étude montrant une concordance entre la perception paysanne et l'analyse des données pluviométriques sur la durée de la saison est en contradiction avec les résultats de l'étude réalisée dans le Sahel, concernant la partie nord du Burkina Faso (Mertz *et al.*, 2012). Cette contradiction pourrait être liée au fait que dans les autres études, la détermination de la durée de la saison généralement calculée comme la différence de la première pluie et de la dernière pluie, ne reflète pas la réalité et peut conduire à une interprétation relativement erronée de la vision locale.

Figure 38 : Perceptions paysannes de l'évolution du début de la saison des pluies dans les trois villages.



Source : Enquêtes terrain, 2011

Figure 39 : Perceptions paysannes de l'évolution de la fin de la saison des pluies dans les trois villages.



Source : Enquêtes terrain, 2011

La diminution de la quantité des pluies (en termes de cumul d'un évènement) est perçue par 52% des interviewés de Dampela, 43% de Gandéfabou Kelwélé et 38% de Kékénéné; tandis que plus de 40% des répondants de ces trois villages sites mentionnent un accroissement de la quantité des pluies (Tableau 11). Ces résultats indiquent une perception contrastée entre les interlocuteurs dans les trois villages. Ce contraste peut s'expliquer par le fait que : d'une part, la vision de ceux qui parlent de réduction de la quantité des pluies, soit peut être influencée par la baisse du nombre de jours de pluie surtout en août ; et d'autre part, la vision de ceux qui mentionnent un accroissement de la quantité des pluies, soit en concordance avec l'analyse de l'évolution de la pluviométrie des 20 dernières années (voir chapitre 3). Les résultats de perception contrastée de l'évolution de la quantité des pluies des 20 dernières années de l'étude sont différents de ceux observés par les autres populations des villages environnants (Ouédraogo *et al.*, 2010; Mertz *et al.*, 2012). Cette différence de perception peut se traduire par les contrastes socioculturels ; ce qui pourrait jouer sur l'adoption des stratégies d'adaptation communes élaborées par le PANA pour l'ensemble de la région du Sahel. Des études similaires montrent que les populations perçoivent en majorité, une baisse de la quantité de pluie des 20 dernières années au Sénégal (Mertz *et al.*, 2009a), et au Kenya, (Ovuka *et al.*, 2000). Des perceptions contrastées sont également observées dans l'étude de Meze-Hausken (2004), menée au nord de l'Ethiopie dans une zone aride.

Tableau 11 : Perceptions de l'évolution des précipitations des 20 dernières années dans les trois villages.

Village	Dampela				Gandéfabou				Kékénéné			
	(%)				(%)				(%)			
Variables de changement	**A**	**S**	**D**	**NS**	**A**	**S**	**D**	**NS**	**A**	**S**	**D**	**NS**
Evolution de la longueur de la saison des pluies	14	6	76	5	13	0	80	7	12	8	73	7
Evolution de la quantité des pluies	45	0	52	3	46	6	43	6	49	7	38	7
Evolution des poches de sécheresse	68	2	26	5	87	0	9	4	65	0	27	8
Evolution des pluies fortes	50	14	32	5	50	2	37	11	57	9	24	9
Evolution des inondations	44	0	47	9	17	0	65	19	49	0	31	20

Source : Enquêtes terrain, 2011. A, Augmenté ; S, stable ; D, diminué ; NS, Ne Sait pas.

L'évolution des poches de sécheresse est en croissance selon plus de 80% des interlocuteurs de Gandéfabou Kelwélé et selon plus de 60% des interviewés des deux autres villages (Tableau 11). L'analyse de ces résultats indique une forte conscience paysanne de l'augmentation des poches de sécheresse. Cette perception concorde avec les résultats d'analyse de l'évolution des séquences sèches en juillet et en août correspondant au mois les plus pluvieux dans la zone d'étude. L'accroissement des poches de sécheresse observé par la majorité des populations locales de nos villages sites est confirmé par les résultats d'études similaires réalisées dans la même zone climatique du Burkina Faso et de la Tanzanie (Slegers, 2008; Mertz *et al.*, 2012). Dans certaines études par contre, des résultats sont différents (Ouédraogo *et al.*, 2010). Ces nuances de perceptions locales pourraient s'expliquer par les pesanteurs sociales.

L'accroissement des pluies fortes (extrêmes) est observé par plus de 50% des personnes interrogées des trois villages sites (Tableau 11). Ces résultats indiquent une perception significative, de l'accroissement des pluies extrêmes. Ce même constat est fait dans les études réalisées au Sahel burkinabé (Ouédraogo *et al.*, 2010; Mertz *et al.*, 2012) et en Ethiopie

(Regassa *et al.*, 2010). Plus de 40% des personnes enquêtées de Dampela et Kékénéné affirment l'existence des inondations, tandis qu'à Gandéfabou Kelwélé, c'est 17% des interviewés qui le mentionnent (Tableau 11). La présence des inondations est faiblement perçue par les interlocuteurs des trois villages, en particulier celle de Gandéfabou Kelwélé. Cette différence de perception est probablement liée à la présence du sable au comportement hydrologique limitant les ruissellements à Gandéfabou Kelwélé (Kumar *et al.*, 2002; Niang, 2006). Le constat d'une faible perception paysanne de l'accroissement des inondations est aussi noté dans d'autres études réalisées au nord du Burkina Faso (Ouédraogo *et al.*, 2010; Mertz *et al.*, 2012).

En plus de l'évolution des précipitations, les populations sont interviewées sur l'évolution des températures et des vents. Les résultats des enquêtes sont présentés dans le tableau 12. L'accroissement de la température durant la saison sèche est mentionné par plus de 80% des personnes interrogées des trois villages. La majorité des interviewés du terroir de Dampela (74%), de Gandéfabou Kelwélé (59%) et de Kékénéné (61%) indiquent une hausse des températures durant la saison d'hivernage.

L'augmentation de la fréquence des vents forts durant la saison des pluies est perçue par plus de 70% des répondants des trois villages sites.

L'analyse des résultats indique une perception significative de l'augmentation des températures durant la saison des pluies et la saison sèche ainsi que l'augmentation de la fréquence des vents forts. Cette observation est aussi faite dans les travaux de recherche menés dans la même zone climatique (Nielsen *et al.*, 2010b; Mertz *et al.*, 2012). Des études similaires menées dans les zones sèches de la bande sahélienne montrent aussi un accroissement de la température, des vents forts inhabituels au Sénégal, et au Niger (Mertz *et al.*, 2009a; Ouaga, 2010; Aberra, 2011).

Tableau 12 : Perceptions de l'évolution des températures et vents des 20 dernières années dans les trois sites d'étude

Village		Dampela				Gandéfabou Kelwélé				Kékénéné			
		(%)				(%)				(%)			
Catégorie	**Variables de changement**	**A**	**S**	**D**	**NS**	**A**	**S**	**D**	**NS**	**A**	**S**	**D**	**NS**
Température	Evolution de l'intensité pendant la saison sèche	82	6	11	2	81	4	9	6	82	3	11	4
	Evolution de l'intensité pendant l'hivernage	74	9	14	3	59	7	30	4	61	11	23	5
Vent forts	Evolution de la fréquence pendant l'hivernage	82	3	12	3	76	4	17	4	77	5	11	7

Source : Enquêtes terrain, 2011. A, Augmenté ; S, stable ; D, diminué ; NS, Ne Sait pas.

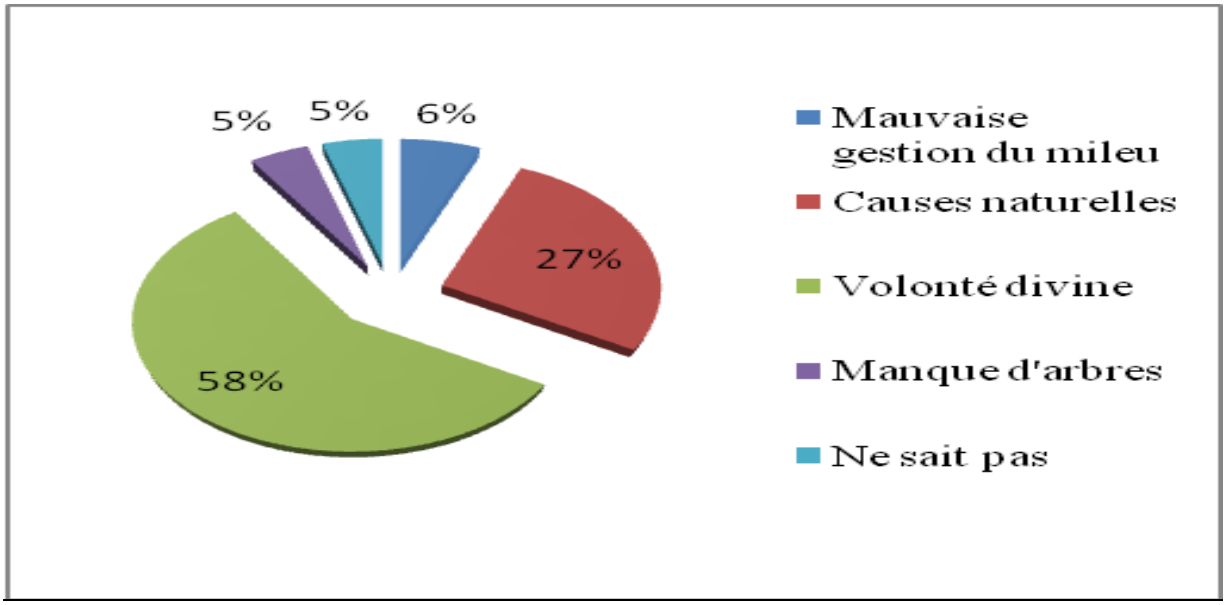
L'analyse de la perception des différents paramètres pluviométriques, des températures et des vents montre qu'en général, les populations perçoivent une évolution négative de ces différents paramètres climatiques, comme le soulignent aussi Barbier *et al.* (2009), dans leur étude similaire menée dans le nord du Burkina Faso. En plus de la perception de l'évolution des paramètres climatiques, des réponses sur les causes d'évolution de ces paramètres ont été recueillies auprès des populations.

4.1.2 Perceptions des causes du changement et de la variabilité climatiques

Les résultats de perception des causes d'évolution du climat sont représentés dans les figures 40a, 40b et 40c. Les causes d'évolution des précipitations sont perçues comme une volonté ou une punition divine par 58% des interviewés à Dampela, 56% à Gandéfabou Kelwélé, et 41% à Kékénéné. Une importante proportion des interviewés, 27% à Dampela, 20% à Gandéfabou Kelwélé et 38% à Kékénéné, notent les changements des précipitations comme un phénomène

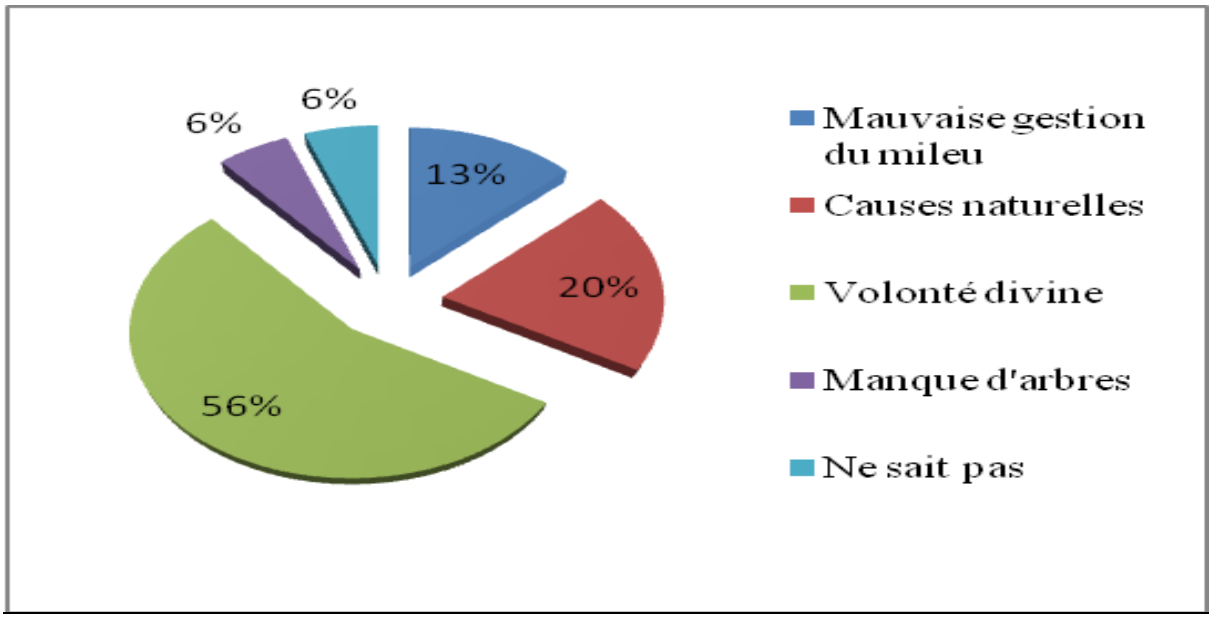
naturel. Une faible proportion des répondants des trois villages mentionnent le manque de gestion du milieu comme source d'évolution des pluies.

Figure 40a : Perceptions des causes d'évolution des précipitations à Dampela



Source : Enquêtes terrain, 2011

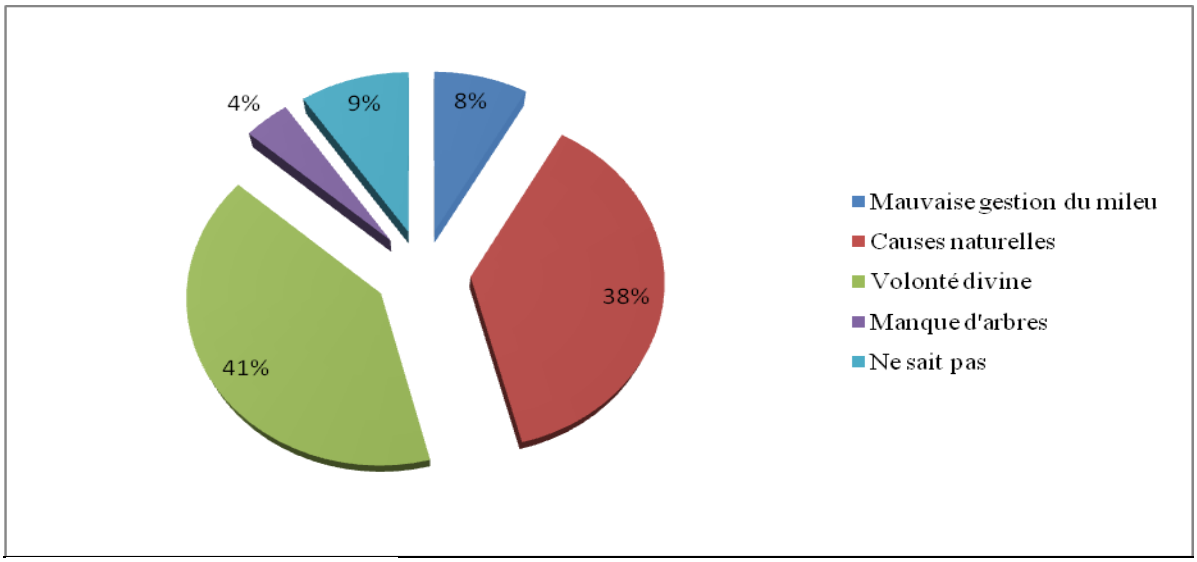
Figure 40b : Perceptions des causes d'évolution des précipitations à Gandéfabou Kelwélé.



Source : Enquêtes terrain, 2011

L'analyse des résultats de perceptions des causes d'évolution des précipitations dans les trois villages montre que les populations sont peu conscientes du rôle que leurs activités jouent dans les changements des précipitations. Ce constat se reflète dans la proportion significative des interlocuteurs qui attribuent les causes du changement pluviométrique, à la sanction divine et aux phénomènes naturels. Pour une grande partie des populations locales, la pluie est un don de Dieu. Nombreux sont donc ceux qui croient que la diminution progressive de «l'eau venant du ciel» est liée au non-respect des valeurs religieuses, à l'insuffisance de prières et aux conflits dans l'accès aux ressources naturelles. Les causes naturelles sont selon la population, l'augmentation des températures, et les changements du mouvement des vents.

Figure 40c : Perceptions des causes d'évolution des précipitations à Kékénéné



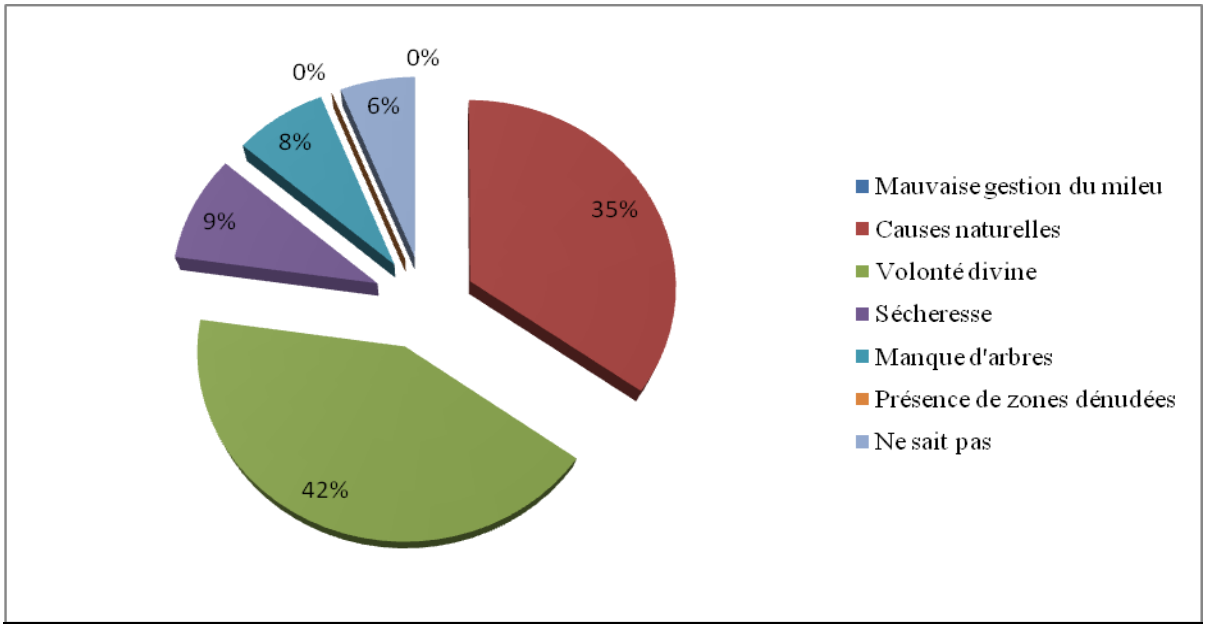
Source : Enquêtes terrain, 2011

Les résultats de la vision paysanne des causes d'évolution des températures et des vents sont représentés sur les figures 41a, 41b et 41c.

La plupart des personnes interrogées de Dampela (42%), de Gandéfabou Kelwélé (50%) et de Kénénéné (31%) attribuent l'évolution des températures et des vents à l'œuvre divine. Une

grande proportion des interviewés (43%) à Kékénéné et une proportion non négligeable à Dampela (35%) et à Gandéfabou Kelwélé (22%) pensent que ces changements sont dus aux phénomènes naturels. La mauvaise gestion, la sécheresse, le manque d'arbres et la présence de zones dénudées sont aussi cités comme causes d'évolution des températures et des vents dans les trois villages sites.

Figure 41a : Perceptions des causes d'évolution des températures et des vents à Dampela

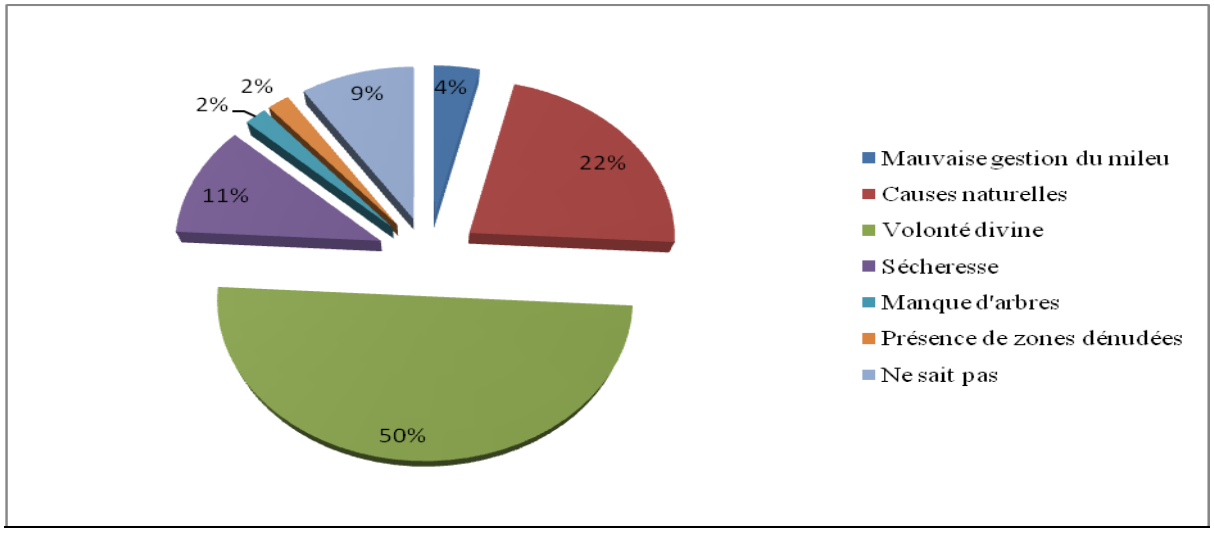


Source : Enquêtes terrain, 2011

Les résultats d'enquête sur la perception des causes d'évolution des températures et des vents révèlent aussi que la population attribue majoritairement ces causes, aux phénomènes naturels et à la colère divine. Il apparaît très faiblement une implication de l'action anthropique aux changements des deux paramètres. Une étude similaire réalisée par Tschakert (2007b) au Sénégal montre que les populations mentionnent aussi la mauvaise gestion et les phénomènes naturels comme facteurs de changement des paramètres climatiques.

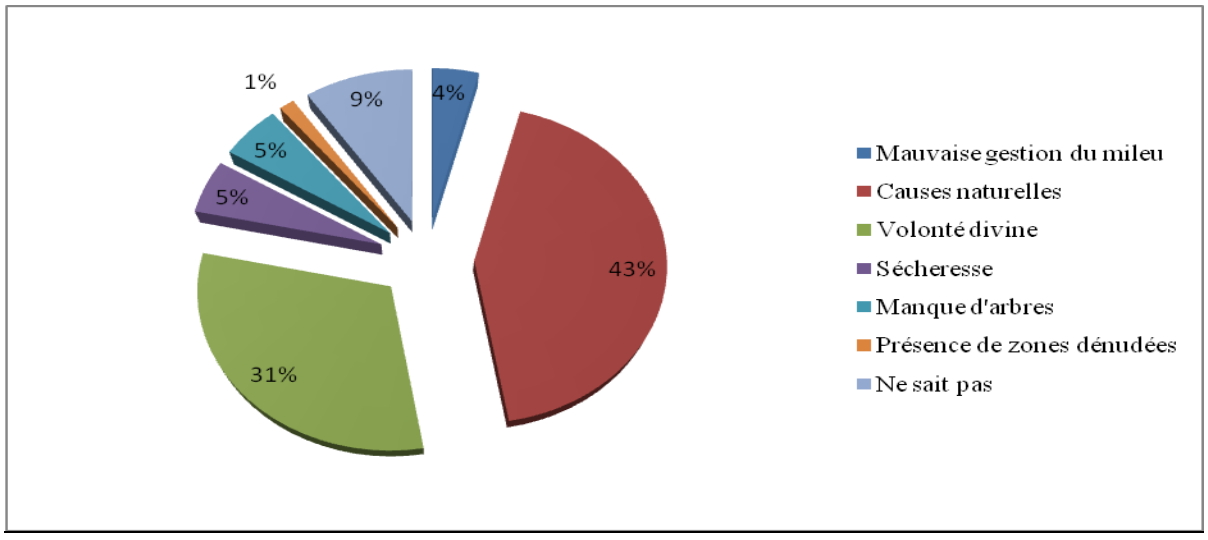
En somme, les raisons d'évolution des paramètres climatiques sont généralement perçues par les interlocuteurs des trois villages comme causes naturelles et sanction divine. Une étude similaire réalisée dans la même zone climatique du Burina Faso aboutit à ce même constat (Kabré, 2008).

Figure 41b : Perceptions des causes d'évolution des températures et des vents à Gandéfabou Kelwélé.



Source : Enquêtes terrain, 2011

Figure 41c : Perceptions des causes d'évolution des températures et des vents à Kékénéné



Source : Enquêtes terrain, 2011

L'attribution paysanne des causes d'évolution des paramètres climatiques aux facteurs naturels et divins pourrait jouer un rôle décisif dans les mesures entreprises pour faire face aux effets de la variabilité de ces paramètres climatiques. En effet, la réaction négative des populations à la pluviométrie des années récentes jugées maudites, joue sur le manque de stratégies pour protéger les champs et profiter des pluies pour améliorer les rendements agricoles. Cette analyse est soutenue dans l'étude menée au Sénégal par Tschakert (2007b). L'inconscience ou l'ignorance des populations de l'influence de leurs activités sur l'évolution du climat pourrait donc limiter les stratégies d'adaptation, par l'absence de motivations ou d'actions pour contrôler leurs activités conduisant à la variabilité et au changement du climat (Heyd *et al.*, 2009; Nielsen *et al.*, 2010b).

4.2 PERCEPTIONS DES IMPACTS SUR LA PRODUCTION AGRICOLE

La variabilité, surtout liée aux changements des débuts et fins de saison, aux poches de sécheresse, à l'occurrence de fortes pluies et des inondations, aux changements de la température durant l'hivernage et l'évolution des vents forts, affecte la productivité agricole par les dommages physiques causés aux plantes, l'attaque de ces plantes par les insectes et par l'apparition des maladies. Les observations sur ces impacts ont été recueillies auprès des personnes interviewées.

4.2.1 Perceptions des dommages agricoles

Les résultats d'études des impacts perçus dans les trois villages en termes de destructions physiques des plantes sont représentés dans le tableau 13. La majorité des populations des trois villages (plus de 80%) observent que le début tardif et les faux départs des pluies, entraînent la mort de jeunes plants tandis qu'une faible proportion des enquêtés notent une

mauvaise croissance des plantes. L'analyse des résultats montre que les répondants sont unanimes dans la reconnaissance de l'impact des faux départs de pluie sur la croissance des cultures, dans les trois villages sites. Le début tardif des pluies ainsi que les faux départs de saison pourraient avoir des répercussions sur le rendement agricole, d'où la nécessité de mieux développer et diffuser les informations relatives aux prévisions météorologiques, afin de permettre aux populations de semer au moment opportun.

Les fortes pluies ont aussi des dévastations sur les cultures. Les impacts tels que la destruction des tiges de cultures sont surtout mentionnées par les répondants, dans le village de Kékénéné (35%). Les tiges de cultures arrachées lors de pluies intenses sont perçues à Gandéfabou Kelwélé. La différence de perception peut s'expliquer par l'influence du milieu à travers la structure instable et meuble du sable qui supporte les cultures et favorise leur arrachage à Gandéfabou Kelwélé. Quelques interviewés (11% à Dampela, 6% à Gandéfabou Kelwélé et 7% à Kékénéné) affirment que les fortes pluies en début de saison occasionnent le pourrissement des semis par stagnation d'eau. Environ 3% des interlocuteurs dans chaque village notent une bonne croissance des plantes en cas de forte pluie. Les inondations inhérentes à ces fortes pluies entraînent la destruction des cultures qui pourrissent par asphyxie, selon 24 et 26% des interlocuteurs, respectivement des terroirs de Gandéfabou Kelwélé et Kékénéné. L'évaluation de la mesure de la perception paysanne de l'impact des pluies excessives révèle que les impacts perçus sur les cultures sont négatifs et positifs. Dans l'ensemble, la perception de l'impact des pluies excessives sur les cultures est faible dans les trois villages ; ce qui inhiberait le développement des stratégies adaptatives pour faire face à l'occurrence de ces conditions pluviométriques extrêmes. Des études similaires confirment que les populations mentionnent des dommages liés aux pluies excessives sur la croissance des plantes au nord du Burkina Faso et du Nigeria (Visser *et al.*, 2003; Barbier *et al.*, 2009; Ayanwuyi *et al.*, 2010).

Les poches de sécheresse entraînent aussi la perte des cultures selon 60% des interviewés à Dampela et à Gandéfabou Kelwélé et 45% à Kékénéné. L'immaturation des cultures est aussi observée par les répondants des trois villages sites. La fin précoce de la saison occasionne une perte des cultures selon la majorité des répondants des trois villages sites. Les résultats indiquent que les populations sont conscientes de l'impact des poches sèches et de la fin précoce des pluies sur les cultures, surtout au moment de la floraison et de la maturation des graines. La même observation est faite par les populations dans l'étude réalisée par Barbier *et al.* en 2009 au nord du Burkina Faso. Cette prise de conscience devrait inciter les populations à mieux se préparer pour réduire la vulnérabilité des cultures à la variabilité croissante des poches de sécheresse démontrée dans le chapitre 3.

L'accroissement de la chaleur durant l'hivernage entraîne la mort de certains pieds de cultures, selon 41% des interlocuteurs de Dampela, 80% de Gandéfabou Kelwélé et 45% de Kékénéné. L'augmentation de la température occasionne aussi le roussissement des plantes. Les résultats montrent une forte perception de l'impact de la chaleur sur les cultures à Gandéfabou Kelwélé, plus que dans les deux autres villages. Cette perception contrastée pourrait être influencée par la forte chaleur liée à la position septentrionale de Gandéfabou Kelwélé. Les températures qui restent élevées pendant la saison des pluies, peuvent empêcher la germination des semences et réduire l'efficacité de l'utilisation des eaux pluviales par les plantes du fait de l'augmentation de l'évaporation de l'eau (Niang, 2006).

Selon 55, 76 et 47% des interviewés, respectivement de Dampela, Gandéfabou Kelwélé et Kékénéné, la durée et la fréquence des vents forts entraînent une perte des semis par le sable qui recouvre les poquets en début de saison et tue les plants par asphyxie. Une faible proportion des interviewés des trois villages observent la destruction des tiges et des feuilles par les vents forts. La forte perception observée à Dampela et à Gandéfabou Kelwélé est peut

être influencée par la présence du sable qui, mobilisé lors des tempêtes fait des dégâts sur les végétaux. Similairement, la destruction des cultures et partant, la baisse de rendement agricole par les vents forts, est aussi mentionnée par les populations locales dans les études réalisées dans la même zone climatique au nord du Burkina Faso, au Sénégal et au nord du Nigeria (Visser *et al.*, 2003; Mertz *et al.*, 2009a; Ayanwuyi *et al.*, 2010).

Tableau 13 : Perceptions paysannes de dommages/pertes physiques des plantes par le changement et la variabilité climatiques des 20 dernières années

Facteurs climatiques	Impact : dommages/pertes physiques des plantes	Dampela	Gandéfabou	Kékénéné
Début tardif des pluies	Mort de jeunes pousses *	85	87	84
	Mauvaise croissance de plants	7	11	8
Fortes pluies	Destruction de tiges	18	17	35
	Arrachage de tiges	5	19	11
	Pourrissement de semis*	11	6	7
	Bonne production[1]	3	4	3
	Croissance lente des cultures	5	4	3
Inondations	Destruction de cultures par asphyxie	12	24	26
	Pourrissement des épis	6	9	3
Poches de sécheresse	Perte de cultures	64	65	45
	Immaturation des cultures	5	2	1
Fin précoce des pluies	Perte de récoltes	75	64	56
	Immaturation de cultures	9	15	19
Augmentation de la chaleur pendant l'hivernage	Mort de certains pieds de cultures	41	80	45
	Roussissement des cultures	2	3	7
Durée et fréquence des vents forts	Recouvrement de semis par le sable/perte de poquets*	55	76	47
	Destruction de plantes	3	4	3

*Source : Enquêtes terrain, 2011. NB: * : dommage en début de saison ; 1 : impact positif.*

4.2.2 Perceptions des maladies des cultures

Les changements des paramètres climatiques affectant la santé des plantes selon les populations, sont principalement le début tardif (faux départ de pluies) et la fin précoce de la saison. Les réponses sur la perception locale des impacts sont contenues dans le tableau 14.

La majorité des répondants des terroirs de Dampela et Gandéfabou Kelwélé (respectivement 53 et 67%), et 42% à Kékénéné mentionnent que le début tardif et les faux départs des pluies occasionnent l'apparition des vers et chenilles sur les jeunes plants. Les attaques par les termites sur les semis, sont surtout observées par les enquêtés de Gandéfabou Kelwélé et de Kékénéné. Ces apparitions et attaques de vers et de termites sur les plants pourraient influencer négativement les populations à semer sur un sol sec avant l'installation effective des pluies.

En ce qui concerne la fin précoce de saison, les interviewés notent généralement les attaques des épis des cultures par les insectes notamment les cantharides (65% à Dampela, 44% à Gandéfabou Kelwélé et 58% à Kékénéné). L'attaque des épis par des criquets est surtout mentionnée par les répondants de Gandéfabou Kelwélé (20%). A Dampela et à Kékénéné, respectivement, 21% et 24% des interlocuteurs notent une apparition du mildiou sur les cultures en cas de fin précoce des saisons. L'impact de l'apparition des différents insectes sur les cultures peut influencer négativement le rendement agricole. Des attaques et des maladies des cultures dues à la variabilité pluviométrique selon les populations sont aussi observées dans les zones arides en Ethiopie, au Nigeria et au Kenya (Ayanwuyi *et al.*, 2010; Rao *et al.*, 2011; Bewket, 2012).

Tableau 14 : Perceptions paysannes des impacts climatiques sur la santé des plantes des 20 dernières années

Facteurs climatiques	Impact sur la santé des plantes	Dampela	Gandéfabou Kelwélé	Kékénéné
Début tardif/faux départs des pluies	Apparition/attaque de vers et chenilles sur les jeunes plants	53	67	42
	Attaque des plants par les termites	9	19	19
Fin précoce des pluies	Attaque des épis par insectes	65	44	58
	Attaque des épis par des criquets	11	20	9
	Apparition du mildiou	21	9	24

Source : Enquêtes terrain, 2011.

L'analyse des différents impacts perçus montre que les répondants des trois villages sont bien conscients des dommages qu'occasionne la variabilité des paramètres climatiques sur la production agricole. Dans l'ensemble, la perception paysanne des impacts est négative. L'élevage, principale source de revenus des populations de la zone d'étude, est aussi affecté par la variabilité climatique.

4.3 PERCEPTIONS DES IMPACTS SUR LES ACTIVITES PASTORALES

L'impact de la variabilité climatique sur l'élevage est perçu par les populations à travers la disponibilité du pâturage et de l'eau ainsi que les maladies des animaux. Les différents paramètres du climat affectant la production et l'activité pastorale sont le début tardif des pluies, les fortes pluies, la courte durée de la saison, les poches de sécheresse, et la fin précoce de la saison.

4.3.1 Perceptions des impacts sur la disponibilité du pâturage et de l'eau

Les résultats de l'enquête sur la perception paysanne des impacts climatiques sur l'élevage sont contenus dans le tableau 15.

Plus de 70% des interviewés des trois villages mentionnent un manque de pâturage pour les animaux lors des débuts tardifs des pluies. Le manque d'eau est aussi cité par quelques interlocuteurs à Dampela et à Kékénéné. Une proportion importante des répondants des trois villages (49% à Dampela, 33% à Gandéfabou Kelwélé et 22% à Kékénéné) observe un manque de pâturage lorsque la saison est de courte durée. Vingt sept pour cent (27%) des répondants de Dampela et 30% de Gandéfabou Kelwélé indiquent un manque de pâturage causé par les poches de sécheresse. Les autres impacts négatifs perçus, liés aux poches de sécheresse sont l'insuffisance d'eau, la mort des animaux, et l'assèchement des points d'eau.

La fin précoce de la saison entraîne une insuffisance et un assèchement du pâturage selon la majorité des personnes interrogées des trois villages. Le manque d'eau peut conduire à une baisse de la qualité du pâturage. Des fortes pluies produisent une abondance de pâturage selon 23, 15 et 22% des répondants, respectivement des villages de Dampela, Gandefabou kelwélé et Kékénéné.

L'analyse de la perception de l'impact de la variabilité pluviométrique révèle que les populations locales observent en moyenne les effets négatifs de la variabilité climatique sur les activités pastorales. Mertz *et al.* (2009a) font le même constat dans l'étude réalisée en zone sahélienne du Sénégal.

Tableau 15 : Perceptions paysannes des impacts climatiques sur l'alimentation des animaux des 20 dernières années

Facteurs climatiques	Impact sur l'alimentation du bétail	Dampela	Gandéfabou	Kékénéné
Début tardif des pluies	Manque de pâturage	82	87	73
	Manque d'eau	9	0	3
Fortes pluies	Abondance de pâturage*	23	15	22
Courte durée de l'hivernage	Manque de fourrage	49	33	22
	Mort de bétail	4	0	3
Poches de sécheresse	Manque de fourrage	27	30	5
	Mort des animaux	6	4	4
	Insuffisance d'eau	5	2	0
	Assèchement des points d'eau	2	0	7
Fin précoce des pluies	Insuffisance de pâturage	73	80	62
	Manque d'eau	6	2	1

*Source : Enquêtes terrain, 2011. * : impact positif.*

4.3.2 Perceptions des impacts sur la santé animale

L'impact du climat sur la santé animale dans la zone d'étude est surtout perçu durant les débuts tardifs et les fins précoces de la saison des pluies. Le tableau 16 contient les résultats de la perception des impacts climatiques sur la santé des animaux.

Les débuts tardifs de la saison des pluies causent la mort des animaux par manque d'eau, selon 39% des populations de Gandéfabou Kelwélé, 45% de celles de Kékénéné, et 5% de celles de Dampela. A Gandéfabou Kelwélé et à Kékénéné, les interviewés mentionnent aussi, la mort des animaux par manque de pâturage. Durant les 20 dernières années, ces débuts tardifs des pluies ont également entraîné, les maladies de la peau et des diarrhées chez les

animaux. La fin précoce des pluies occasionne l'apparition des maladies selon 41% et 50% des interlocuteurs, respectivement de Gandéfabou Kelwélé et de Kékénéné. La peste animale, la diarrhée et la mort des animaux sont mentionnées par les répondants des trois villages sites.

Les résultats montrent que la mort des animaux par manque d'eau est plus observée à Gandéfabou Kelwélé et à Kékénéné, qu'à Dampela. Cela s'expliquerait par la disponibilité de l'eau souterraine à Dampela. La mesure de la perception de l'impact de la variabilité pluviométrique est dans l'ensemble faible.

Des études menées dans les zones climatiques similaires montrent que les populations observent aussi l'impact de la variabilité climatique (vents forts et fortes pluies) sur la santé animale et sur le manque de pâturage au Sénégal et en Ethiopie (Mertz *et al.*, 2009a; Bewket, 2012).

Tableau 16 : Perceptions paysannes des impacts climatiques sur la santé des animaux des 20 dernières années

Facteurs climatiques	Impact sur la santé des animaux	Dampela	Gandéfabou	Kékénéné
Début tardif des pluies	Mort d'animaux par manque d'eau	5	39	45
	Maladie de la peau	3	4	9
	Mort par manque de pâturage	0	20	19
	Diarrhée des animaux	8	0	3
Fin précoce des pluies	Apparition de maladies	11	41	50
	Peste animale	2	0	3
	Diarrhée des animaux	2	4	5
	Mort par manque de pâturage	0	22	12

Source : Enquêtes terrain, 2011.

L'évolution de la variabilité et changement climatique, ainsi que leurs impacts sur les activités agropastorales des populations paysannes a été analysée dans les précédentes sections du présent chapitre. Conformément aux objectifs d'étude, des questions ont été aussi posées

auprès des populations locales, sur les ajustements adoptés pour pallier aux différents impacts perçus. Ces stratégies sont présentées et discutées dans la section suivante.

4.4 ADAPTATION AU CHANGEMENT ET A LA VARIABILITE CLIMATIQUES

Les populations paysannes utilisent différentes stratégies d'adaptation pour faire face et répondre aux défis que le changement et la variabilité climatiques posent à la production agricole et pastorale. Il est important de faire la différence entre les actions entreprises juste au moment où les crises climatiques surviennent (stratégies d'adaptation réactive), et les actions généralement entreprises durant des années pour atténuer les impacts plausibles (stratégies d'adaptation proactive) de la variabilité et du changement climatiques. Cette quatrième section du présent chapitre souligne de ce fait, les résultats des actions mises en œuvre à long terme et celles entreprises de façon spontanée par les populations locales.

4.4.1 Stratégies d'adaptation en agriculture

Les mesures d'adaptation aux changements et aux variabilités climatiques, mises en œuvre dans la production agricole face aux dommages, attaques parasitaires et maladies causés sur les cultures sont entre autres : la modification du calendrier agricole, l'adoption de nouvelles variétés ou améliorées, la pratique de techniques de conservation des eaux et des sols (CES), l'utilisation de la fumure organique, l'utilisation des bas-fonds, et les soins phytosanitaires. Les tableaux 17 et 18 présentent les résultats des mesures d'adaptation adoptées par les populations locales des trois sites d'étude.

4.4.1.1 Réponse paysanne à la variabilité des débuts tardifs et faux départ des pluies

Face à la mauvaise croissance et à la mort de jeunes plants liées au début tardif des pluies et aux faux départs de la saison d'hivernage, la majorité des interviewés de Dampela (53%), de Gandéfabou Kelwélé (35%) et de Kékénéné (55%), réagit spontanément par des semis

répétés. Certains enquêtés, surtout ceux de Gandéfabou Kelwélé réduisent le nombre de champs (19%). Afin d'éviter de tels désagréments climatiques à long terme, les populations locales prennent des dispositions pour réduire les impacts, en utilisant des variétés précoces (33% à Dampela, 28% à Gandéfabou Kelwélé et 30% à Kékénéné). Certains répondants font des semis sur sol sec surtout à Dampéla (20%) et à Kékénéné (16%) ; et d'autres par contre utilisent la fumure organique, particulièrement à Dampela (6%) (Tableau 17). Les mesures de la perception paysanne montrent que la répétition des semis est la forme adaptative spontanée ou réactive la plus pratiquée par les populations paysannes. A long terme (stratégie proactive) c'est surtout l'utilisation, quoique faible, des variétés précoces ou améliorées qui domine. La faible pratique des semis sur sol sec peut s'expliquer par les attaques des termites mentionnés par les populations dans le sous titre 4.2.2 du présent chapitre. Le dérèglement de la saison d'hivernage à travers le début tardif des pluies et les faux départs de la saison a conduit à la modification des dates de semis afin de réaliser le cycle des cultures pendant une période favorable. Ces ajustements permettent aux cultures de réduire les effets du stress hydrique. Une étude similaire menée en Ethiopie corrobore ce constat (Meze-Hausken, 2004).

En ce qui concerne l'apparition et l'attaque des termites sur les plants et semences, du fait de la mauvaise installation de la saison, 47% des répondants de Dampela, 31% à Gandéfabou Kelwélé et 18% à Kékénéné appliquent des soins phytosanitaires. Certains enquêtés des trois villages (23% à Dampela, 30% à Gandéfabou Kelwélé et 15% à Kékénéné) affirment ne rien faire; tandis que d'autres font un traitement traditionnel avec l'application de la cendre autour des poquets de semis. Contre l'envahissement des plants par les vers et chenilles, les repondants de Dampéla (2%) et Kékénéné (5%) arrachent les parties des plantes attaquées (Tableau 18). L'analyse des stratégies d'adaptation adoptées par les interlocuteurs des trois sites d'études pour lutter contre les attaques des parasites sur les semis et plants, révèle une faible utilisation des soins phytosanitaires. Cela traduirait une mauvaise adaptation locale (ou

une faiblesse à l'adaptation) quand on observe aussi la proportion de ceux qui ne font rien pour lutter contre ces attaques parasitaires. Cette faiblesse de l'usage des soins phytosanitaires peut s'expliquer par la mentalité locale sahélienne de toujours attendre une assistance ou par l'insuffisance d'appui conseil des agents agricoles ou le faible niveau d'éducation.

4.4.1.2 Réponse paysanne à la variabilité des fortes pluies et inondations

Les populations interrogées qui ont observé la destruction des plantes par les averses témoignent ne rien faire pour répondre aux impacts négatifs (17% à Dampela, 33% à Gandéfabou Kelwélé et 31% à Kékénéné). Elles déclarent procéder par contre au redressement des tiges de cultures détruites. Le pourrissement des semis en début de saison par stagnation d'eau de fortes pluies ou d'inondation, conduit à des reprises de semis, au drainage ou à une absence de réaction (Tableau 17). A long terme, les stratégies adoptées pour faire face aux inondations sont semer sur du sol sableux, ou cultiver sur les glacis. Les résultats montrent que l'adaptation face à l'impact des averses est obsolète au moment où survient l'impact. La stratégie proactive encore appelée « anti-risque » climatique est la pratique des cultures sur des zones à différentes positions topographiques afin de réduire les pertes ; ceci est confirmé par une étude réalisée au Niger (Graef *et al.*, 2001; Warren, 2002).

L'immaturation et les pertes de cultures constatées par les répondants des trois villages ont conduit à l'adoption des mesures proactives durant des années, pour pallier la baisse de la productivité liée aux poches de sécheresse. Parmi ces mesures, il y a l'utilisation des techniques CES, l'utilisation des bas-fonds et l'apport du fumier. La pratique du zaï et des demi-lunes est beaucoup plus développée à Dampela (31%) et Kékénéné (22%) qu'à Gandéfabou Kelwélé (5%). Plus de 25% des répondants des trois villages utilisent les bas-fonds pour les cultures. Les cordons pierreux et/ou les diguettes sont utilisés par 17% des

interviewés de Dampela, 26% de Gandéfabou Kelwélé et 31% de Kékénéné. L'apport du fumier est surtout utilisé à Dampela (32%) et Gandéfabou Kelwélé (20%) (Tableau 17). La différence dans l'usage des techniques CES, telles que le zaï et les demi-lunes peut s'expliquer par la faible vocation agricole à Gandéfabou Kelwélé et par le refus des populations qui estiment que la réalisation de ces techniques est pénible et leur durabilité est limitée (comblement rapide par le sable).

4.4.1.3 Réponse paysanne à la variabilité des fins précoces des pluies

La majorité des enquêtés de Dampela (56%), contre 15% à Gandéfabou Kelwélé et 41% à Kékénéné, disent ne rien faire pour s'adapter à l'impact de la fin précoce des pluies sur le rendement agricole. A Gandéfabou Kelwélé surtout, face à la perte des cultures, la majorité des répondants (76%) disent se remettre à Dieu. Les stratégies d'adaptation paysannes aux attaques des épis de mil par les insectes due à la fin précoce des pluies sont entres autres : le recours à la méthode traditionnelle de la fumée faite à partir d'herbes humides ou de pneus pour chasser les bestioles ; et surtout les traitements phytosanitaires (20% à Dampela, 20% à Gandéfabou Kelwélé et 24% à Kékénéné). Pour lutter contre l'apparition du mildiou (maladie des plantes), 30% des répondants de Dampela et 26% de Gandéfabou Kelwélé ne font rien ; cependant, certains enquêtés coupent les parties des plantes infestées et d'autres font des prières (Tableau 18). Des études similaires menées au Kenya et au Burkina Faso sur l'adaptation face à la baisse des rendements agricoles dans une zone climatique semblable, mentionnent aussi la prière comme une sorte de stratégie utilisée par les populations (Benoît, 2008; Mertz *et al.*, 2010; Speranza *et al.*, 2010).

L'analyse des résultats des ajustements paysans pour réduire l'impact des fins précoces des pluies sur les pertes et les maladies des cultures montre une limite d'adaptation locale à court et long termes.

Les stratégies paysannes comme la pratique des méthodes CES face à l'impact négatif de la variabilité pluviométrique observé dans la zone d'étude sont aussi mentionnées dans d'autres zones écologiques similaires du Burkina Faso et du Nigeria (Barbier *et al.*, 2009; Ayanwuyi *et al.*, 2010).

4.4.1.4 Réponse paysanne à l'augmentation de la chaleur pendant l'hivernage

Parmi les répondants ayant constaté la mort de certains pieds de cultures due à l'augmentation de la température pendant l'hivernage, 24% à Dampela, 50% à Gandéfabou Kelwélé et 30% à Kékénéné, disent ne rien faire (Tableau 17). Ces résultats indiquent une absence d'adaptation locale face à l'augmentation de la température en hivernage.

4.4.1.5 Réponse paysanne à la variabilité de la durée et à la fréquence des vents forts

Le recouvrement des poquets des semis par le sable apporté par les vents forts conduit inévitablement à des reprises de semis selon 39%, 57%, et 22% des répondants, respectivement des villages de Dampela, Gandéfabou Kelwélé et Kékénéné. Pour la destruction des tiges et feuilles de cultures, 8% des répondants de Dampela, 19% à Gandéfabou Kelwélé et 15% à Kékénéné affirment ne rien faire. D'autres par contre, redressent des tiges déformées, déterrent les plants et établissent des haies (Tableau 17). La réponse paysanne à la variabilité et à la durée et fréquence des vents forts dans les trois villages sites semble être limitée et inappropriée. L'utilisation des haies est très faible. La quasi absence de protection des champs par les haies pourrait s'expliquer par le sentiment d'impuissance des populations face à l'action des vents forts et à l'insuffisance des dispositifs (végétaux) de protection.

Tableau 17 : Stratégies d'adaptation aux impacts climatiques sur les dommages physiques des plantes des 20 dernières années (%)

Impacts perçus	Types d'adaptation	Dampela	Gandéfabou	Kékénéné
Mort de jeunes pousses	Reprise de semis	53	35	55
Mauvaise croissance de plants	Utilisation variétés précoces*	33	28	30
	Semis sur sol sec*	20	2	16
	Faire avec	2	15	0
	Réduction nombre de champs	0	19	0
	Application fumure organique*	6	0	0
Tiges de cultures cassées	Faire avec	17	33	31
Tiges de cultures arrachées	Redressement de tiges	2	2	3
Destruction de semis	Reprise de semis	2	4	3
Croissance lente des cultures	Semis sur sol sableux*	9	0	0
Destruction de cultures par stagnation	Faire avec	2	15	11
Pourrissement des épis	Récolte avant la fin de saison	0	4	0
	Creusement de sillons	5	9	7
	Avoir des champs sur glacis*	5	2	1
Perte de cultures	Pratique de CES	31	5	22
	Utilisation de bas-fonds*	38	39	27
Immaturation des cultures	Elaboration de CES	17	26	31
	Apport du fumier*	32	20	4
	Ne rien faire	3	15	3
Perte de récoltes	Se remettre à dieu	15	76	4
Immaturation de cultures	Faire avec	56	15	41
Mort de pieds de culture	Faire avec	24	50	30
Roussissement de cultures	Réduction du nombre de pieds	3	11	1
Recouvrement de poquets de semis par le sable	Reprise de semis	39	57	22
Destruction des tiges et des feuilles	Faire avec	8	19	15
	Redressage de tiges déformées	0	0	4
	Déterrage des plants	6	0	0
	Etablissement des haies	2	0	3

*Source : Enquêtes terrain, 2011. NB : * : les stratégies d'adaptation proactives ou à long terme*

Tableau 18 : Stratégies d'adaptation aux impacts climatiques sur la santé des cultures

Impacts perçus	Types d'adaptation	Dampela	Gandéfabou	Kékénéné
Apparition/attaque de vers et chenilles sur les plants	Arrachage des parties attaquées	2	0	5
Attaque de termites sur les plants	Faire avec	23	30	15
	Soin phytosanitaire (Décis et Gamaride)	47	31	18
	Traitement des semis avec la cendre	6	17	14
Attaque des épis par cantharides	Chasser avec la fumée de pneu/herbe fraiche	5	17	11
Attaque épis par des criquets	Traitement phytosanitaire	20	20	24
Apparition du mildiou	Faire avec	30	26	9
	Couper les parties de la plante atteinte	9	15	19
	Prières	3	7	1

Source : Enquêtes terrain, 2011

Des études d'adaptation paysanne pour faire face à la baisse des rendements agricoles causée par la variabilité climatique confirment la faiblesse de l'adaptation constatée dans les sites d'études (Mertz *et al.*, 2009a). La faible pratique de stratégies locales dans l'anticipation de prévisions serait en partie due à l'acclimatation des acteurs à la haute caractéristique de la variabilité pluviométrique de la région et aussi au manque de ressources. Les facteurs non-climatiques tels que la pauvreté, les ressources inadéquates et le manque de préparation des populations, l'absence ou l'insuffisance de systèmes d'alerte de prévisions pluviométriques, le faible niveau d'éducation exposent les populations aux impacts de la variabilité et des changements climatiques et limitent leur capacité adaptative. Ces mêmes explications sont aussi révélées dans des études menées ailleurs dans les zones arides en Afrique du Sud, au nord du Nigéria, au Kenya, et au Niger (Reid *et al.*, 2006; Maddison, 2007b; Ozor *et al.*, 2010; Speranza *et al.*, 2010; Nzeadibe *et al.*, 2011; Roudier *et al.*, 2011).

4.4.2 Stratégies d'adaptation en élevage

Dans le secteur de la production pastorale, les ajustements faits par les paysans des sites d'étude ces vingt dernières années, pour répondre aux impacts climatiques sur l'état du pâturage, de l'eau et sur la santé animale, sont principalement, l'utilisation des résidus agricoles, les migrations, l'achat des compléments alimentaires, et les soins vétérinaires. Les résultats des stratégies d'adaptation adoptées par les répondants ayant observé le manque de pâturage et d'eau durant les années marquées par le dérèglement pluviométrique sont représentés dans le tableau 19.

Dans le village de Dampela, les interlocuteurs optent pour l'achat du son (20%) et la vente d'animaux pour acheter le fourrage (18%). A Gandéfabou Kelwélé, les répondants achètent surtout les tourteaux (19%) et le fourrage (15%) ; et à Kékénéné, c'est surtout l'acquisition du son (19%) et des tourteaux (22%). Les résidus agricoles sont aussi utilisés pour l'alimentation du bétail à long terme, en bonne ou mauvaise année. Cette stratégie est adoptée par 8% des répondants de Dampela, 4% à Gandéfabou Kelwélé et 3% à Kékénéné. En plus des compléments alimentaires, 18% des répondants du village de Dampela, et 15% de Gandéfabou Kelwélé déplacent les animaux vers le sud du pays à la recherche de pâturage et d'eau; tandis qu'à Kékénéné, les déplacements se font principalement vers le Mali (26%). A Gandéfabou Kelwélé, la recherche de l'eau se caractérise par les déplacements vers le cours d'eau Béli (affluent du fleuve Niger) selon 15% des répondants et par le creusement des puisards dans le bas-fond (4%). Les résultats montrent que les stratégies d'adaptation en élevage sont diverses et se caractérisent en grande partie par des mobilités spatio-temporelles localisées et l'achat de compléments alimentaires. Ce même constat est aussi fait dans une étude réalisée au Niger (Ouaga, 2010).

Pour faire face aux maladies et à la mort des animaux à cause de la variabilité pluviométrique, les interviewés des trois villages sites (11% à Dampela, 11% à Gandéfabou Kelwélé et 8% à Kékénéné), pratiquent surtout des soins avec un produit importé du Ghana et du Nigeria du nom local « Toupail ». Le recours aux soins vétérinaires s'observe chez 5% des répondants de Dampela, 4% de Gandéfabou Kelwélé et 9% de Kékénéné. Les résultats montrent que les ajustements des activités pastorales face à la variabilité pluviométrique est faible dans l'ensemble. Cela peut s'expliquer par le faible impact du climat sur le secteur de l'élevage en témoigne l'accroissement du cheptel dans la zone selon l'ENEC II.

Tableau 19 : Stratégies d'adaptation aux impacts climatiques sur la production animale

Types d'adaptation	Dampela	Gandéfabou	Kékénéné
Utilisation de résidus agricoles*	8	4	3
Migration vers le sud du pays	18	15	0
Migration vers le Mali	5	13	26
Migration vers les points d'eau (Béli)	0	15	0
Creusement de puits	0	4	0
Vente d'animaux pour acheter le fourrage	18	2	5
Achat de tourteaux	3	19	22
Achat de fourrage	17	15	1
Achat de son	20	6	19
Soins vétérinaires (vaccination)	5	4	9
Traitement local avec « Toupail »	11	11	8

*Source : Enquêtes terrain, 2011. NB : * : les stratégies d'adaptation proactive*

Dans ce chapitre, les analyses montrent que les paysans des trois villages d'étude sont en général, conscients de la variabilité et du changement climatiques. Leur perception concorde avec l'évolution actuelle du climat observée par l'évaluation des données météorologiques des 20 dernières années. Les populations sont aussi fortement unanimes sur l'évolution négative des paramètres climatiques dans l'ensemble. Le début tardif et l'arrêt précoce de la saison des pluies, la diminution de durée de la saison, l'accroissement des poches de

sécheresse, de la température et des vents forts sont les majeurs challenges des populations des trois villages. Les populations souffrent de la baisse de la productivité agricole et pastorale à cause des incidences croissantes des dommages des cultures, des maladies végétales et animales et des morts d'animaux. Les stratégies adoptées en agriculture et en élevage sont multiples et sont entre autres : l'adoption de nouvelles variétés ou améliorées, la pratique des techniques CES, l'utilisation de la fumure organique, l'utilisation des bas-fonds, les soins des cultures et des animaux, la mobilité animale et l'achat de compléments alimentaires. La plupart des stratégies adoptées sont réactives.

Les résultats de recherche dans la deuxième partie de cette étude, révèlent une grande variabilité ces dernières décennies, des paramètres climatiques analysés à travers les données météorologiques. Les populations locales ont en général, des fortes perceptions négatives, sur l'évolution des précipitations, des températures, et des vents. Leurs visions et l'analyse scientifique de l'évolution du climat sont très souvent concordantes. L'évolution de ces différents paramètres climatiques a des influences sur les activités des populations qui développent diverses stratégies plus ou moins efficaces pour y faire face. En plus du climat, les connaissances des populations sur l'évolution de leur environnement sont évaluées dans la troisième et dernière partie de la thèse, afin de mieux appréhender la dynamique de la végétation par l'approche spatiale.

TROISIEME PARTIE : DYNAMIQUE DE LA VEGETATION ET PERCEPTION PAYSANNE

L'analyse de l'évolution de la végétation est structurée en deux chapitres. Le chapitre cinq traite de la dynamique de la biomasse et des causes d'évolution à travers l'utilisation de deux indices dérivés de NDVI des cinq dernières années, à l'échelle régionale.

Afin de mieux comprendre cette dynamique, des évaluations de l'occupation des terres à l'échelle locale et de l'analyse de la perception paysanne de l'évolution des ressources naturelles sont nécessaires. Les résultats de l'analyse de ces deux paramètres sont présentés dans le chapitre six.

CHAPITRE 5 : DYNAMIQUE DE LA BIOMASSE

Ce chapitre présente les résultats d'étude de l'évolution de la biomasse. Il est structuré en quatre sections. La première et la deuxième présentent respectivement, l'analyse de la dynamique de la biomasse à l'échelle régionale (province du Soum et de l'Oudalan), et locale (départements d'Aribinda, Deou et Koutougou). Dans la troisième section, la discussion et la comparaison de l'évolution de la biomasse des deux échelles d'analyse sont présentées. La quatrième section présente les causes d'évolution de la biomasse par l'utilisation de l'ICV.

5.1 EVOLUTION DE LA BIOMASSE A L'ECHELLE REGIONALE

Les variations des valeurs de l'ICN dans les provinces de Soum et d'Oudalan sont présentées dans les figures 42. Ces valeurs sont obtenues à partir des images décadaires NDVI de SPOT-VGT de 1 km de résolution.

En 2006, les valeurs de l'ICN sont extrêmement faibles pour la 1ère décade du mois d'août dans les deux provinces et fortes en général, pour les deux autres décades, surtout dans l'Oudalan (Figures 42a, 42b, et 42c).

En 2007, les valeurs sont moyennes et fortes pour les trois décades du mois d'août. Des valeurs extrêmement fortes sont observées au sud de la province de l'Oudalan et du Soum, respectivement dans la 2e et 3e décades. Cependant, des valeurs faibles apparaissent dans la zone d'étude (Figures 42d, 42e, et 42f).

Pour l'année 2008, les valeurs de l'ICN pour les 3 décades sont moyennes et fortes dans les parties sud-est et nord-est des deux provinces. Les parties nord et nord-ouest respectivement de Soum et Oudalan révèlent des valeurs faibles à très faibles (Figures 42g, 42h, et 42i).

En 2009, les valeurs de l'ICN sont très faibles pour les trois décades du mois d'août, surtout au nord-ouest de l'Oudalan (Figures 42j, 42k, et 42l).

Excepté la 1ère décade du mois d'août, les valeurs de l'ICN des autres décades d'août de l'année 2010 sont rangées entre des valeurs moyennes à fortes (Figures 42m, 42n, et 42o).

Figures 42 : Cartes de l'indice de croissance normalisé –ICN- à l'échelle régionale

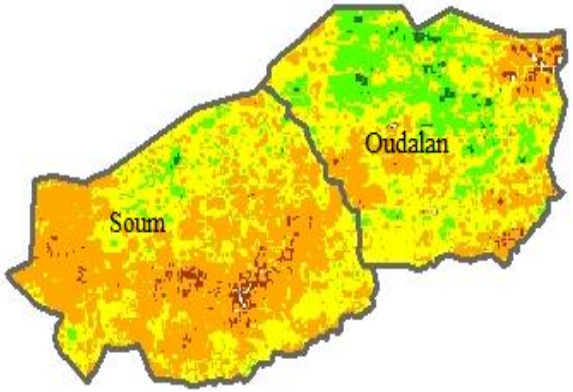


Figure 42a : ICN de la 1ère décade d'août 2006

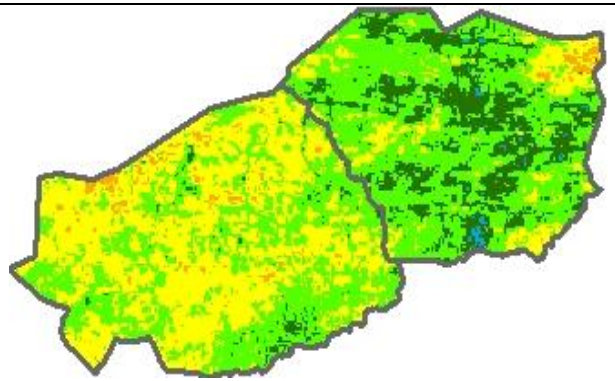


Figure 42b : ICN de la 2e décade d'août 2006

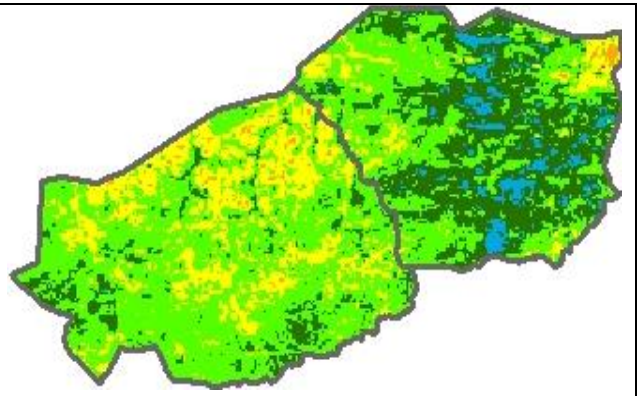


Figure 42c : ICN de la 3e décade d'août 2006

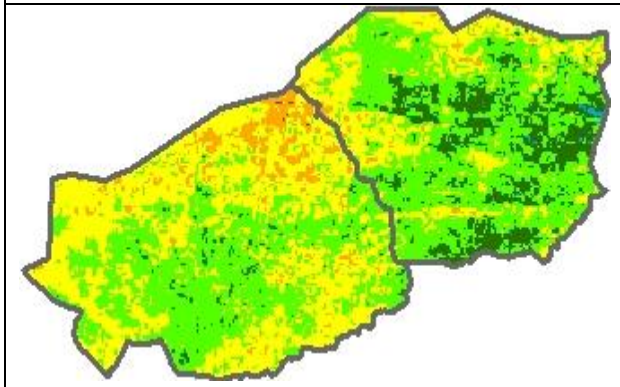


Figure 42d : ICN de la 1ère décade d'août 2007

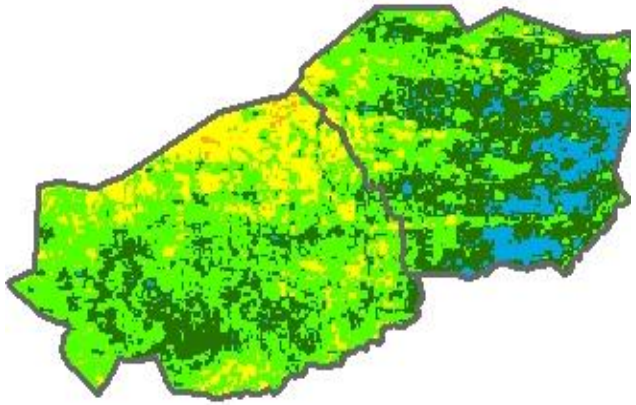


Figure 42e : ICN de la 2e décade d'août 2007

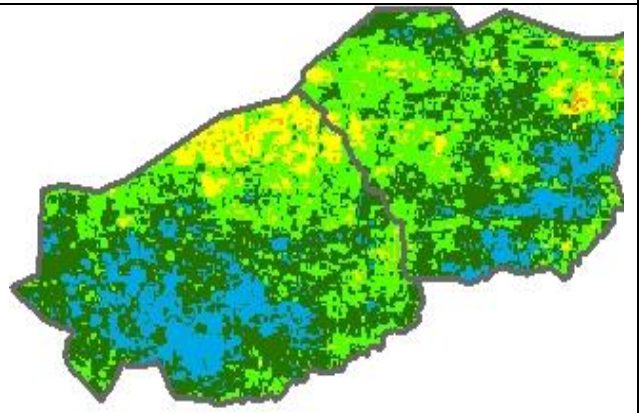


Figure 42f : ICN de la 3e décade d'août 2007

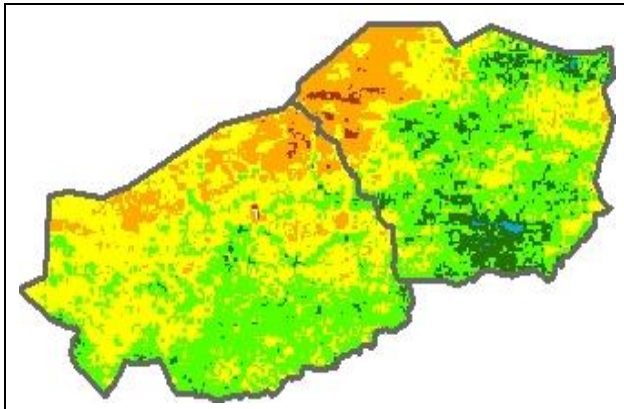
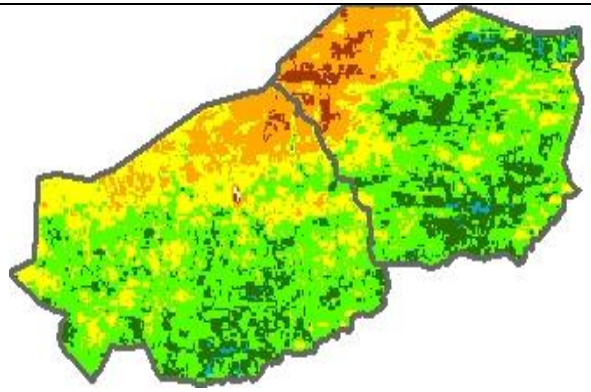
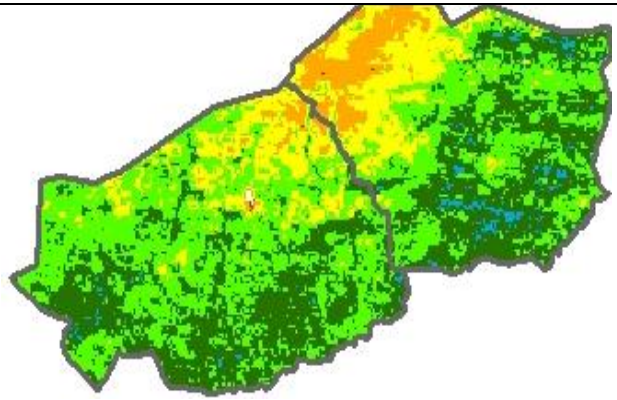
		

Figure 42g : ICN de la 1ère décade d'août 2008	Figure 42h : ICN de la 2e décade d'août 2008	Figure 42i : ICN de la 3e décade d'août 2008

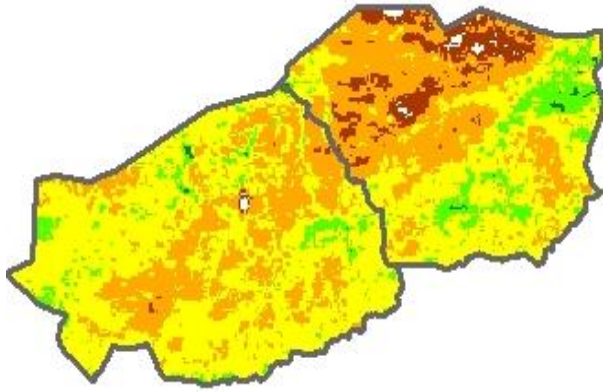
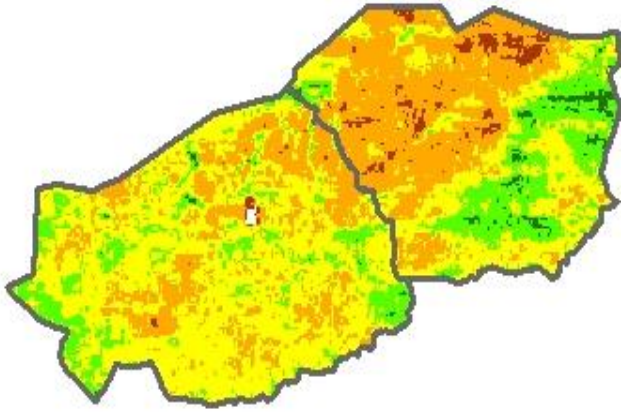
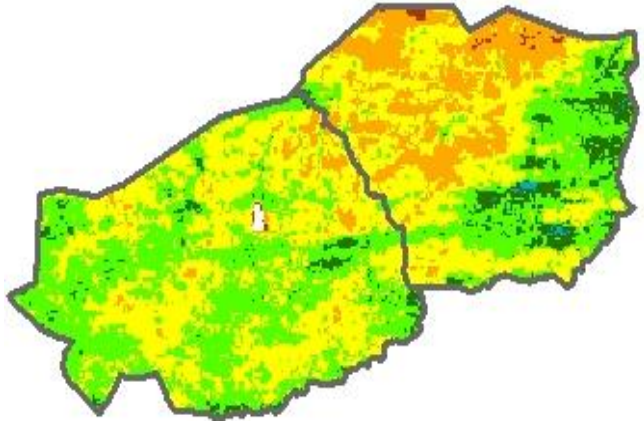

		

Figure 42j : ICN de la 1ère décade d'août 2009	Figure 42k : ICN de la 2e décade d'août 2009	Figures 42l : ICN de la 3e décade d'août 2009

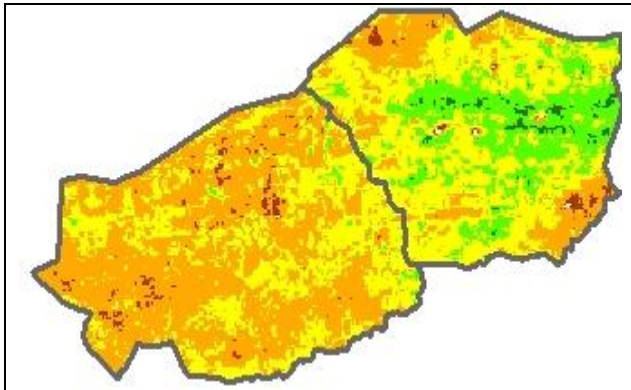


Figure 42m : ICN de la 1ère décade d'août 2010

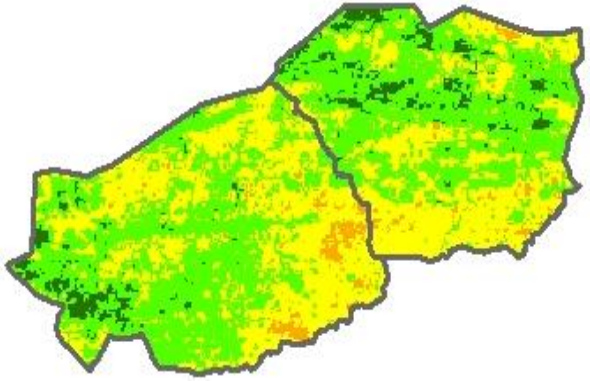


Figure 42n : ICN de la 2e décade d'août 2010

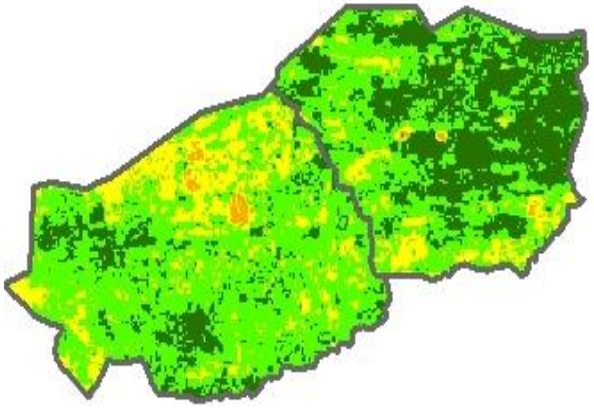
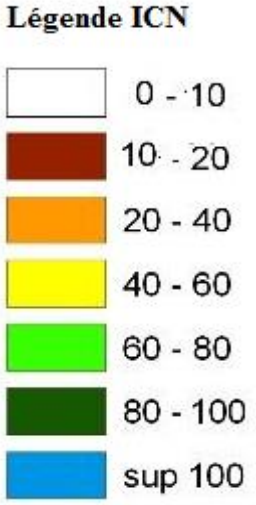


Figure 42o : ICN de la 3e décade d'août 2010

Source : Images SPOT-VGT de 2006, 2007, 2008, 2009 et 2010



5.2 RESULTATS DE L'EVOLUTION DE LA BIOMASSE A L'ECHELLE LOCALE

L'évolution de la biomasse de 2006 à 2010 à travers les variations de l'ICN dans les départements de Deou, Aribinda et Koutougou est représentée dans les figures 43. Ces valeurs ont été obtenues à partir d'images NDVI MODIS de 250 m de résolution.

En 2006, les valeurs de l'ICN sont en général moyennes et fortes (entre 40 et 80 %) pour la 1^{ére} quinzaine du mois d'août (28 juillet au 12 août), dans les départements de Koutougou et Aribinda ; et très fortes (80 à 100%) à Deou (Figure 43a). Dans la deuxième quinzaine du mois d'août (12 au 28 août), les départements d'Aribinda et Koutougou ont des valeurs surtout moyennes (40 à 60%). Le département de Deou a des valeurs fortes à très fortes (Figure 43b).

Les valeurs de l'ICN en 2007 pour la première quinzaine sont dans l'ensemble fortes à très fortes pour les trois départements (60 à 100%) et plus prononcées à Deou (Figure 43c). Dans la deuxième période, excepté la partie nord de Deou, qui a des valeurs moyennes, le reste de la zone d'étude présente des valeurs très fortes (Figure 43d).

Pour l'année 2008, dans la première période d'analyse, les valeurs de l'ICN sont extrêmement faibles dans les départements de Koutougou et Deou et beaucoup plus prononcées dans leur partie nord. Aribinda connait des valeurs d'ICN majoritairement très fortes (Figure 43e). Dans la deuxième période d'analyse, les départements de Koutougou et Deou ont des valeurs d'ICN moyennes, excepté le nord de Deou où elles y sont extrêmement faibles. Pour la même période, Aribinda a des valeurs moyennes, et surtout fortes dans sa partie centrale (Figure 43f).

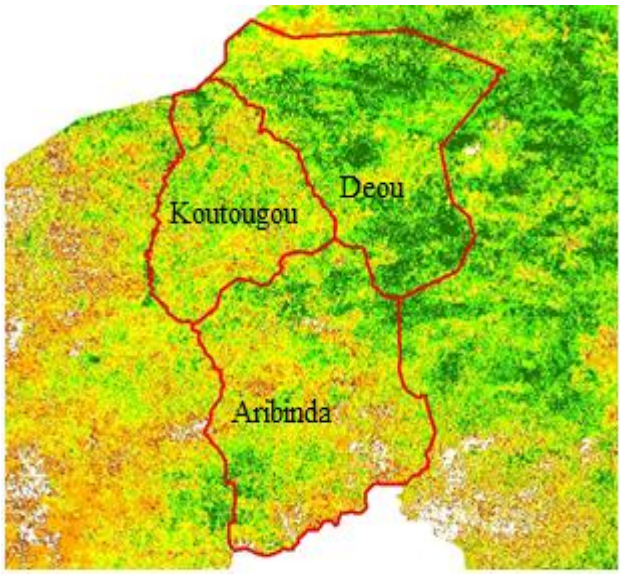
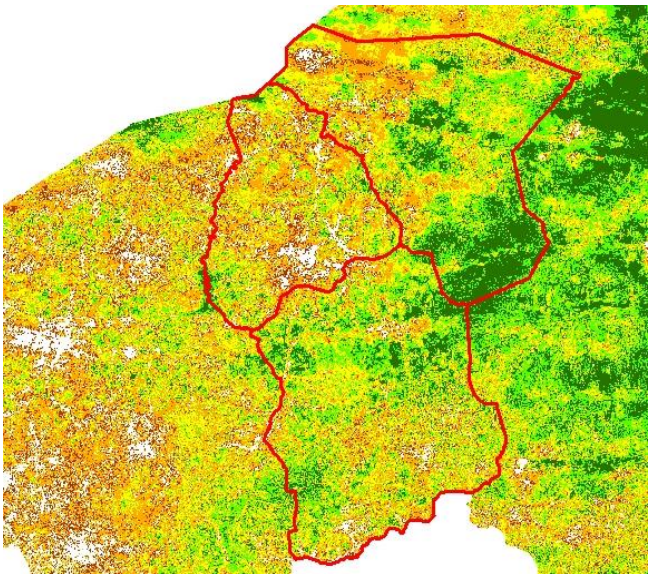
En 2009, les valeurs de l'ICN sont semblables et majoritairement faibles à Koutougou et Aribinda (0 à 60%) pour la première période (Figure 43g). A Deou elles sont très faibles

surtout au nord-est. Dans la deuxième période du mois, les valeurs sont extrêmement faibles dans l'ensemble de la zone d'étude (Figure 43h).

En 2010, la 1ère quinzaine du mois d'août présente des valeurs de l'ICN très fortes en majorité à Koutougou et Deou ; et fortes à Aribinda (Figure 43i). Dans la deuxième quinzaine, les valeurs de l'ICN sont quasiment identiques à celles de la première période dans les trois départements (Figure 43j).

Figure 43 : Cartes de l'indice de croissance normalisée à l'échelle locale

(225 =1ère quinzaine et 241 =2 e quinzaine)

<table>
<tr>
<td> 
</td>
<td>  </td>
</tr>
<tr>
<td>Figure 43a : ICN 225_2006</td>
<td>Figure 43b : ICN 241_2006</td>
</tr>
</table>

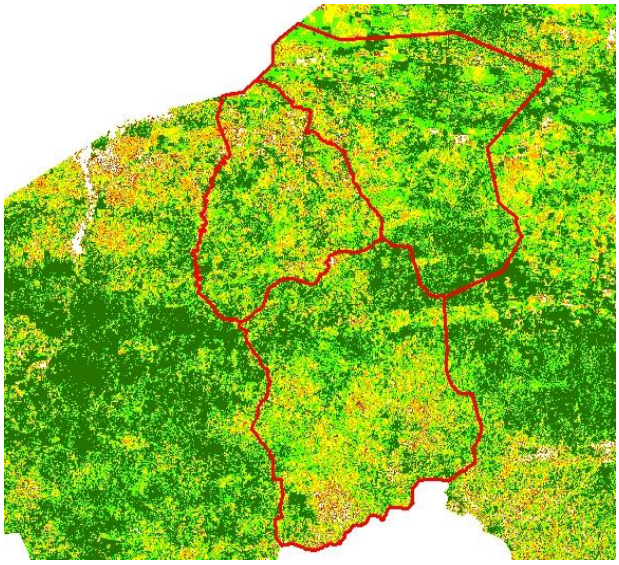


Figure 43c : ICN 225_2007

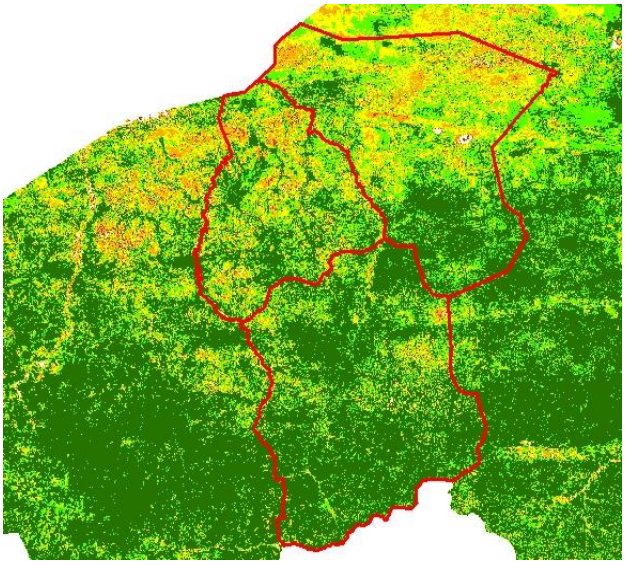


Figure 43d : ICN 241_2007

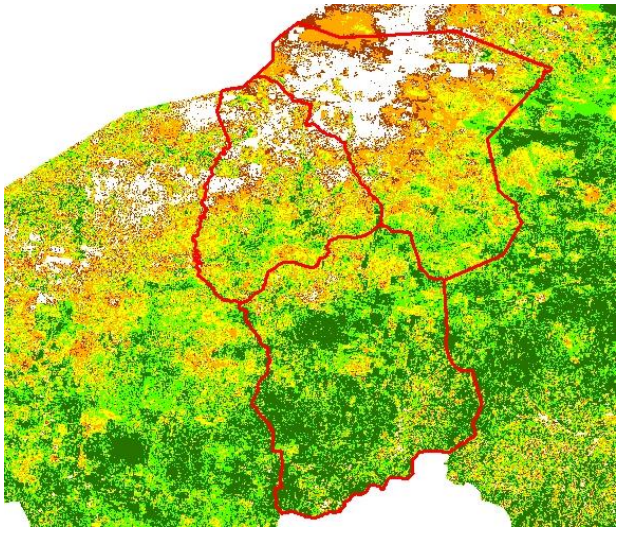


Figure 43e : ICN 225_2008

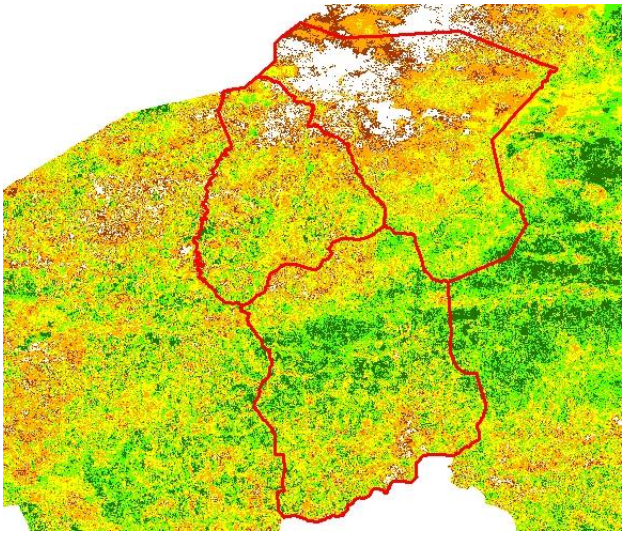


Figure 43f : ICN 241_2008

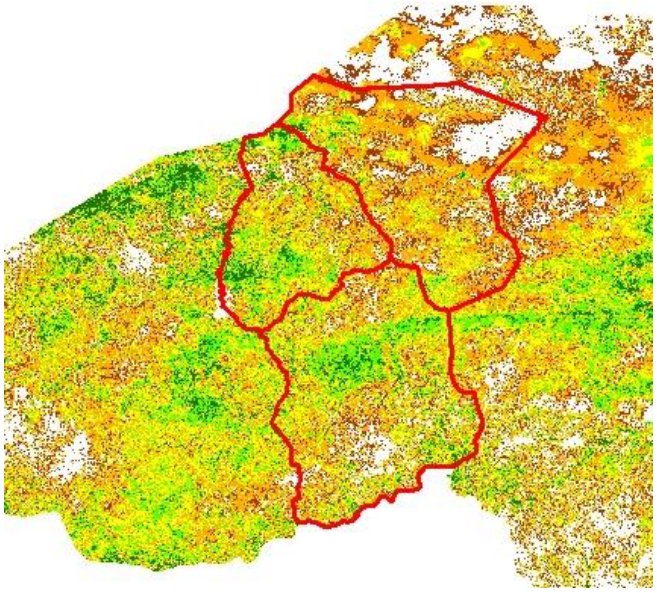


Figure 43g : ICN 225_2009

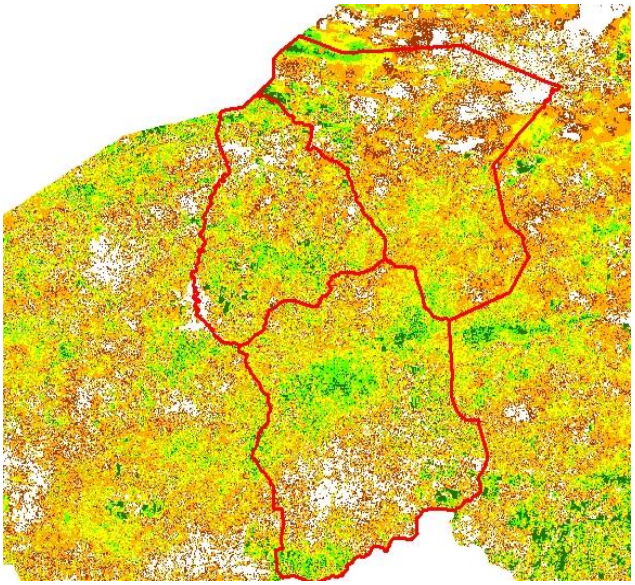


Figure 43h : ICN 241_2009

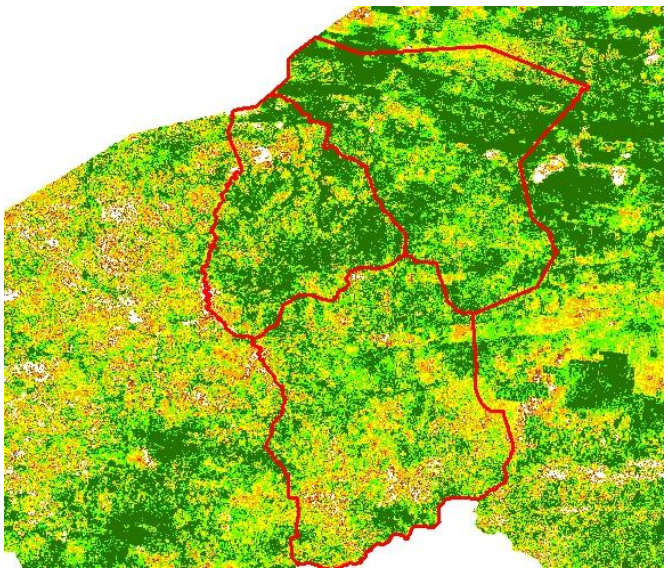


Figure 43i : ICN 225_2010

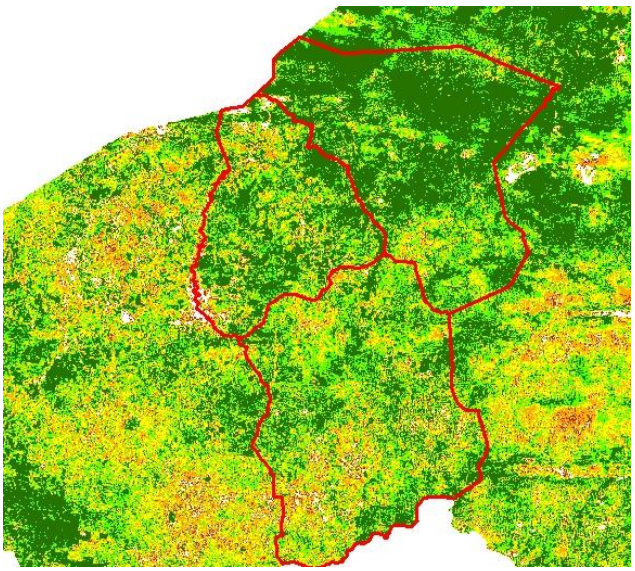


Figure 43j : ICN 241_2010

Source : Images MODIS de 2006, 2007, 2008, 2009 et 2010

5.3 DISCUSSION ET COMPARAISON DES DEUX ECHELLES D'ANALYSE

Les résultats de l'étude sont obtenus à partir des images de SPOT-VGT de 1 km de résolution pour l'échelle régionale ; à l'échelle locale, la résolution est de 250 m avec les images MODIS. De plus, ces résultats portent sur l'utilisation d'un indicateur dérivé du NDVI qui est l'ICN, pour analyser les tendances de l'évolution annuelle de la biomasse sur une période de cinq ans. Des études sur la dynamique de la végétation au Sahel à l'échelle régionale existent (Anyamba *et al.*, 2005; Herrmann *et al.*, 2005; Olsson *et al.*, 2005; Fensholt *et al.*, 2011; Huber *et al.*, 2011). Ces études sont généralement basées sur l'analyse des images NDVI du satellite NOAA de 8 km de résolution, qui sont analysées sur des années groupées. De plus le NDVI brut est sujet à caution puisque ses valeurs dépendent non seulement du capteur du satellite (calibrage et résolution spatiale), mais est influencée par la nature du substratum et le type de végétation (Field *et al.*, 1995; Kammerud, 1996; Karnieli *et al.*, 2002). De ce faite, ces résultats sont difficilement comparables à ceux obtenus dans la zone d'étude (Soum-Oudalan).

Les résultats de l'analyse de l'ICN à partir de SPOT VGT, montrent une variabilité spatiale (selon un gradient nord-sud) et temporelle de la croissance de la biomasse. Les valeurs faibles observées pour la première décade du mois d'août révèlent exceptionnellement une croissance anormale de la végétation sur la période de cinq ans. Cette croissance anormale est cependant plus marquée dans le Soum que dans l'Oudalan. Ce qui signifie une mauvaise croissance de la biomasse dans le Soum dès la première décade d'août, qui correspond à une période critique de développement des plantes. Cette situation peut se traduire par un impact négatif sur les productions agricoles et pastorales de la zone.

Les autres décades présentent aussi une variabilité temporelle de l'ICN. Les années 2006, 2007 et 2010 connaissent dans l'ensemble une bonne croissance de la végétation dans les

deux provinces, à l'exception de la partie nord correspondant à notre zone d'étude où la situation de la biomasse se révèle souvent critique sur toute la période. Si en 2007, la croissance exceptionnelle de la végétation est notée, les années 2008 et surtout 2009 sont par contre caractérisées par une anomalie de croissance de la végétation dans les deux provinces ; la situation est plus préoccupante dans le Nord-Est de l'Oudalan, avec des conséquences néfastes sur la production de la biomasse aussi bien ligneuse qu'herbacée.

En 2006, les valeurs de l'ICN à partir d'images MODIS des deux quinzaines d'août montrent une bonne croissance de la végétation à Deou (Oudalan) et le contraire à Koutougou et Aribinda (Soum).

On observe que l'année 2006 est une année de bonne croissance de végétation qui se traduit par un gradient contrasté par rapport aux isohyètes pluviométriques.

La situation de l'ICN en 2007 pour la première quinzaine, révèle une très bonne croissance de la végétation dans l'ensemble des trois départements. Cette croissance est plus marquée à Deou (Figure 43c). Cependant dans la deuxième période, tous les départements montrent une croissance très positive de la végétation (Figure 43d), sauf le nord de Deou qui reste critique. En résumé, 2007 est également une très bonne année de croissance et plus particulièrement dans le département de Deou qui se localise dans la partie plus au nord de la zone d'étude.

En 2008, dans les deux périodes d'analyse, les valeurs de l'ICN, présentent une croissance très négative de la végétation dans les départements de Koutougou et Deou, surtout dans les localités situées au nord des deux départements. A Aribinda cependant, la croissance de la végétation est positive (Figure 43e). On observe pour l'année 2008 qui est une année de croissance anormale, que le gradient est conforme aux isohyètes pluviométriques, c'est-à-dire

une décroissance vers le nord. Cette tendance a des effets négatifs sur la situation agricoles et pastorale dans les trois départements, et la situation est plus préoccupante dans la partie Nord.

En 2009, la croissance de la végétation est critique (négative) à Koutougou et Aribinda durant la première période (Figure 43g). Dans la deuxième période, la croissance est critique dans l'ensemble des trois départements (Figure 43h). On constate le même gradient de croissance qu'en 2008.

En 2010, on observe une très bonne croissance de la végétation durant les deux quinzaines du mois d'août dans tous les départements. Cependant, dans la partie plus au nord, la croissance est particulièrement bonne. Cette tendance peut se traduire par une bonne production de biomasse végétale. Le gradient de la croissance est identique à celui des bonnes années de pluviométrie (exemple 2007 et 2006), c'est-à-dire contraire au gradient des isohyètes.

Les résultats de l'analyse de l'ICN à partir de SPOT-VGT et MODIS, montrent une variabilité spatiale (gradient nord-sud) et temporelle de la croissance de la biomasse.

Pour la première décade du mois d'août 2006, 2007 et 2010, les valeurs de l'ICN obtenues à partir de SPOT-VGT révèlent une croissance majoritairement négative de la végétation beaucoup plus critique dans le Soum pour la première décade ; avec les images MODIS de 250 m de résolution de la première quinzaine d'août, la croissance est très bonne dans l'ensemble. On constate donc un fort contraste des tendances de la biomasse selon les types de produits utilisés. Cette situation pourrait avoir des conséquences dans le diagnostic de la campagne agricole. Par exemple, toutes les tendances négatives révélées par SPOT-VGT de la province du Soum en 2007 et 2010 sont positives avec les résultats de MODIS (Figures 42d, 42m, 43c et 43i). Les autres décades du mois d'août avec SPOT présentent aussi une variabilité temporelle de l'ICN. Les années 2006, 2007 et 2010 connaissent dans l'ensemble

une bonne croissance de la végétation dans les deux provinces. Avec MODIS, la deuxième quinzaine des trois dates, est marquée par une très bonne croissance de la végétation surtout à Deou. Tous les deux types de produits révèlent une situation de croissance critique dans la partie nord de la zone d'étude.

Les résultats des images SPOT-VGT pour la première décade du mois d'août des années 2008 et 2009 montrent une croissance de la végétation très critique dans l'ensemble, plus prononcée dans la partie nord de l'Oudalan ; avec les images MODIS pour la première quinzaine des deux années, la situation est similaire. Pour les autres décades d'août avec SPOT-VGT, on observe également la situation de croissance critique, surtout au nord des départements de Koutougou et Deou. On pourrait attribuer cette tendance au phénomène de dégradation prononcée du couvert végétal dans la zone (observations terrain, 2010).

5.4 CAUSES DE LA DYNAMIQUE

Les variations des valeurs de l'ICV dans les provinces de Soum et de l'Oudalan sont présentées dans les figures 44.

En 2006, les valeurs de l'ICV de la 1ère décade du mois d'août sont extrêmement faibles (0 à 20%) dans la province du Soum, et moyennes dans l'Oudalan (Figure 44a). Les deux autres décades du même mois ont des valeurs faibles à extrêmement faibles pour la province de Soum et fortes dans l'Oudalan (Figures 44b et 44c).

En 2007, les valeurs de l'ICV sont fortes dans l'ensemble des deux provinces pour les trois décades étudiées (Figures 44d, 44e et 44f). Des valeurs extrêmes fortes y sont observées durant tout le mois d'août.

En 2008, les valeurs de l'ICV des décades du mois d'août sont dans l'ensemble, moyennes à fortes (40 à 80%) dans les deux provinces ; cependant les parties nord du Soum et nord-ouest

de l'Oudalan sont marquées par des valeurs extrêmement faibles pour la même période (Figures 44g et 44h et 44i).

En 2009, les valeurs de l'ICV sont extrêmement faibles pour tous le mois d'août et dans les deux provinces (Figures 44j, 44k et 44l).

En 2010, à part la 1ère décade du mois d'août qui affiche des valeurs très faibles dans la province du Soum, le reste de la zone d'étude connaît dans le mois d'août, des valeurs de l'ICV fortes (60 à 80 %), surtout dans l'Oudalan (Figures 44m, 44n et 44o).

Des études sur la dynamique de la végétation au Sahel à l'échelle régionale existent (Anyamba *et al.*, 2005; Herrmann *et al.*, 2005; Olsson *et al.*, 2005; Fensholt *et al.*, 2011; Huber *et al.*, 2011); ces études sont généralement basées sur l'analyse des images NDVI brutes en général ; très peu de références sur les dérivés du NDVI sont disponibles pour une comparaison avec nos résultats.

Les résultats de l'analyse de l'ICV montrent une variabilité temporelle et spatiale dans l'ensemble.

Les faibles valeurs observées durant les trois décades du mois d'août en 2006 indiquent une situation de sécheresse surtout dans le Soum. Cela peut se traduire par un stress hydrique pour la végétation et principalement pour les cultures. A l'opposé, l'Oudalan connaît des valeurs relativement fortes qui correspondent à une condition d'humidité plus favorable.

En 2007, des valeurs extrêmes fortes observées durant le mois d'août montrent une situation de condition d'humidité très favorable pour la végétation dans les deux provinces. Cette situation peut se traduire par une bonne croissance de la biomasse, pouvant engendrer une bonne campagne agricole et la disponibilité du fourrage naturel.

En 2008, les résultats montrent une persistance des valeurs faibles de l'ICV, ce qui indique un état de sécheresse extrême, particulièrement dans la zone d'étude. La tendance de l'ICV observée en 2009, traduit également une situation de sécheresse dans les deux provinces ; cela peut occasionner des effets néfastes pour la campagne agricole et la productivité végétale, d'autant plus que le mois d'août correspond au maximum d'accumulation de la biomasse dans la zone.

L'année 2010 connaît en revanche, les fortes valeurs de l'ICV, ce qui indique une forte humidité durant le mois d'août, excepté la première décade qui a connu une poche de sécheresse au niveau du Soum.

En somme, les années 2006, 2007 et 2010 connaissent globalement dans les deux provinces, une forte humidité avec cependant des situations de sécheresse dans leur partie nord. Des situations de sécheresse extrême sont majoritairement apparues dans les années 2008 et 2009. En effet, l'analyse interannuelle (1991-2010) de la tendance d'évolution de la séquence sèche maximale du mois d'août montre une tendance à la hausse pour la station d'Aribinda et celle de Gorom-Gorom (Figures 28a et 28b). De même, l'analyse de l'évolution du nombre de jours secs du mois d'août révèle un accroissement pour les deux stations durant la même période (Figures 29a et 29b). Ces deux variables climatiques en plus de l'accroissement des températures et de l'évapotranspiration du mois d'août de 1971 à 2010 (Figures 30 et 37) conduisent à une situation très défavorable pour le développement des écosystèmes, avec comme conséquences possibles la forte vulnérabilité de la campagne agricole et la faible productivité des ressources végétales de la zone.

Figure 44 : Cartes de l'indice de condition de la végétation –ICV

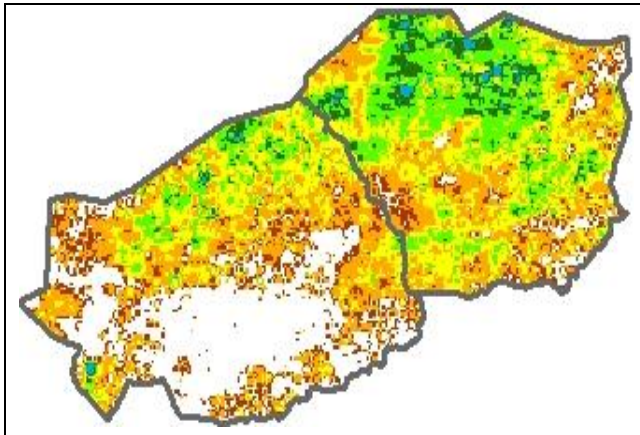


Figure 44a : ICV de la 1ère décade d'août 2006

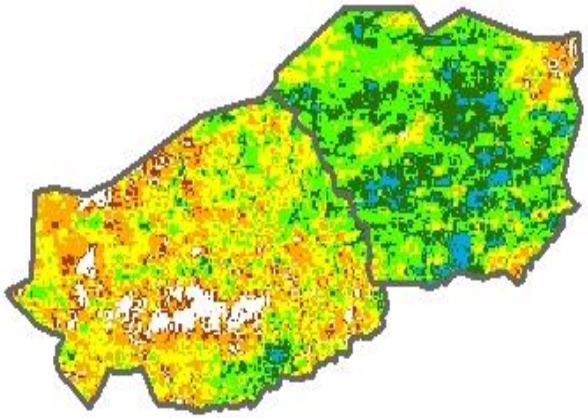


Figure 44b : ICV de la 2e décade d'août 2006

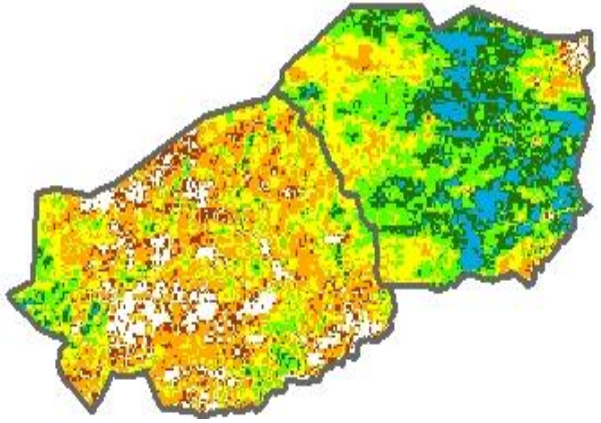


Figure 44c : ICV de la 3e décade d'août 2006

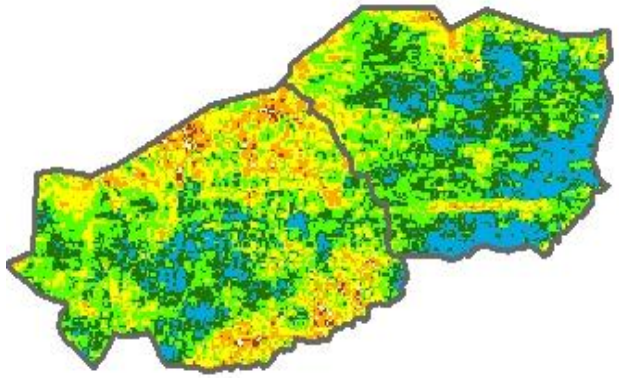


Figure 44d : ICV de la 1ère décade d'août 2007

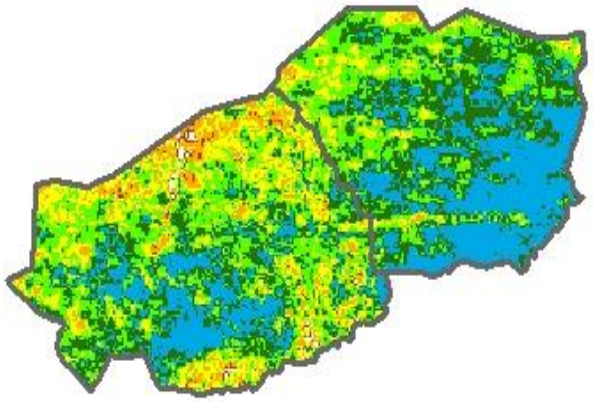


Figure 44e : ICV de la 2e décade d'août 2007

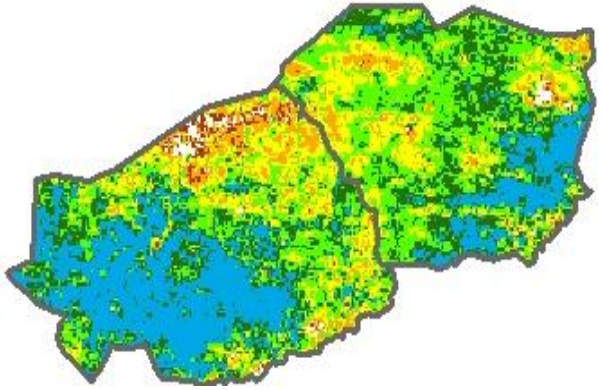


Figure 44f : ICV de la 3e décade d'août 2007

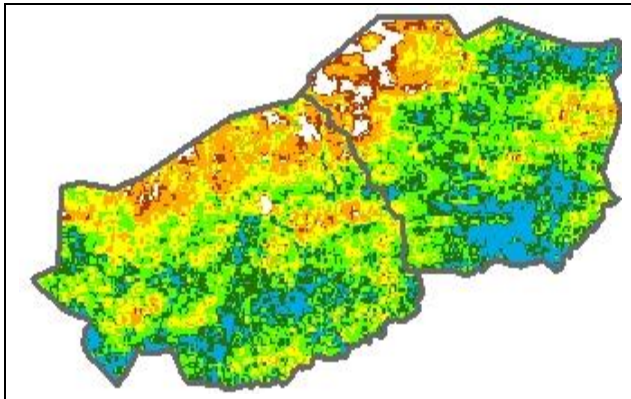


Figure 44g : ICV de la 1ère décade d'août 2008

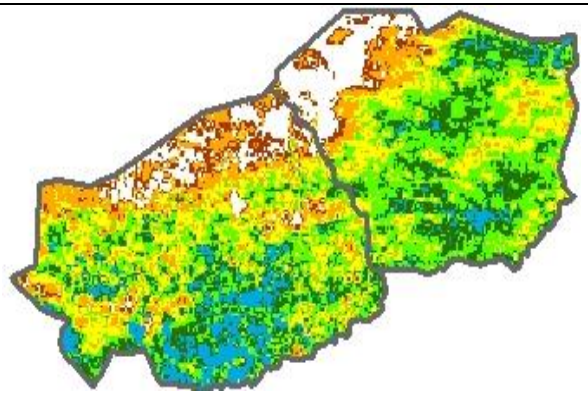


Figure 44h : ICV de la 2e décade d'août 2008

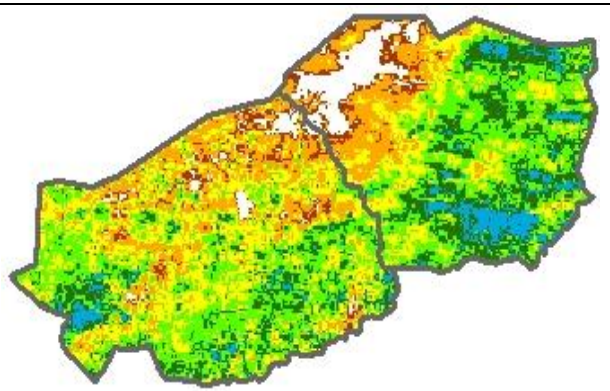


Figure 44i : ICV de la 3e décade d'août 2008

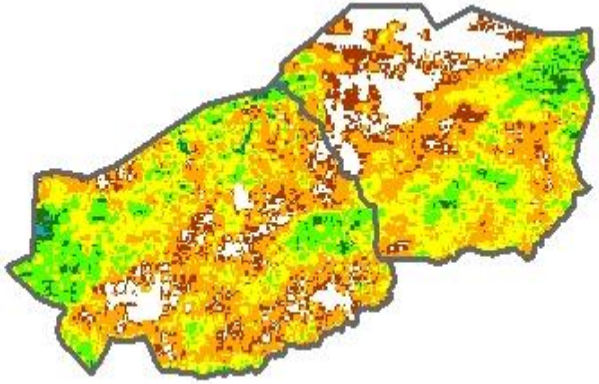


Figure 44j : ICV de la 1ère décade d'août 2009

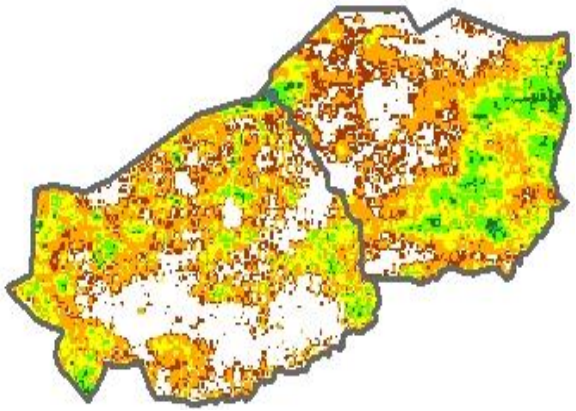


Figure 44k : ICV de la 2e décade d'août 2009

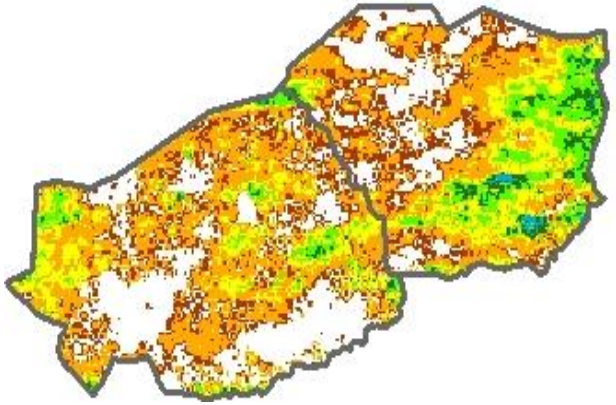


Figure 44l : ICV de la 3e décade d'août 2009

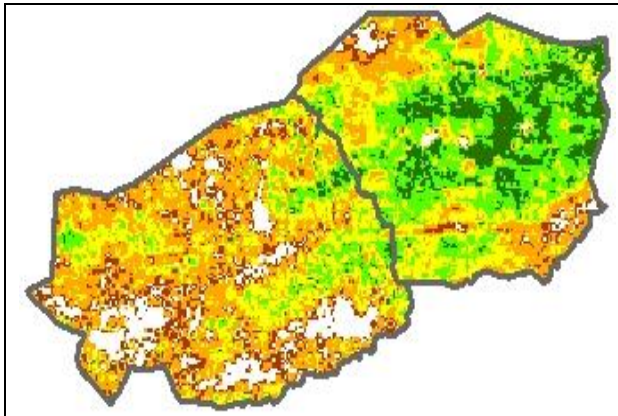


Figure 44m : ICV de la 1ère décade d'août

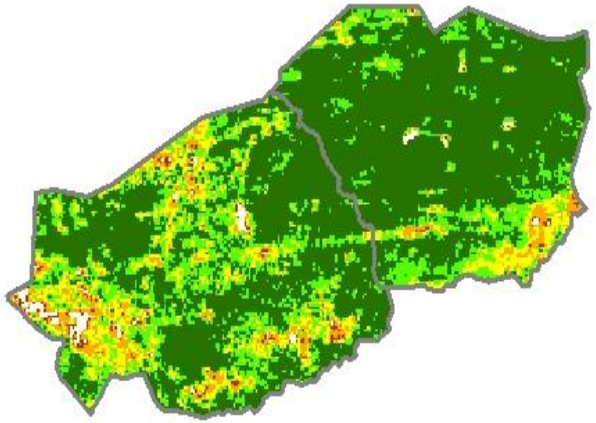


Figure 44n : ICV de la 2e décade d'août 2010

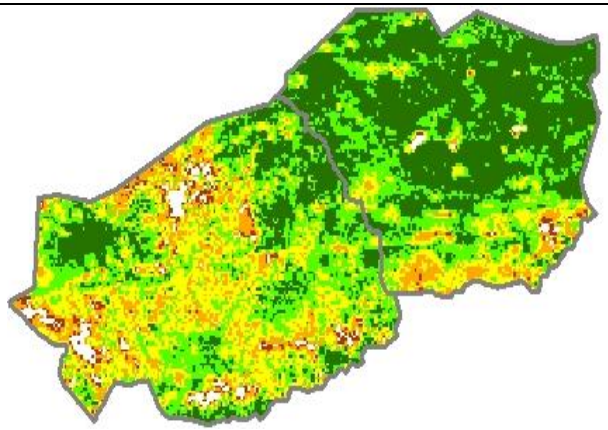
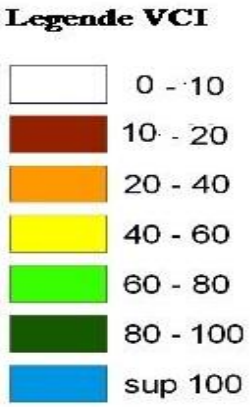


Figure 44o : ICV de la 3e décade d'août 2010

Source : Images SPOT-VGT de 2006, 2007, 2008, 2009 et 2010



Dans ce présent chapitre, l'analyse de la dynamique récente de la biomasse à l'échelle régionale et locale sahélienne, montre des tendances de croissance contrastée de la végétation. L'analyse des causes d'évolution montre des successions d'années sèches et pluvieuses. Pour apporter plus d'éclairage dans l'évolution de la végétation, le chapitre 6 restitue une analyse de la dynamique de l'occupation des terres à une échelle plus petite (échelle terroir) et une évaluation de la mesure de la perception paysanne de l'évolution des ressources naturelles au cours de ces vingt dernières années.

CHAPITRE 6 : DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES ET PERCEPTION PAYSANNE

Les résultats de l'étude de la dynamique de l'occupation des terres et de la perception de l'évolution des ressources naturelles s'articulent autour de quatre sections. La première concerne la précision de la classification des images satellites utilisées, la deuxième présente la situation temporelle de l'occupation des terres, la troisième section porte sur la dynamique de l'occupation des terres et les conversions survenues au cours de la période d'étude. La quatrième section traite de la perception paysanne de l'évolution des ressources naturelles et leurs causes d'évolution.

6.1 CLASSIFICATION NUMERIQUE DES IMAGES

Le traitement des images Landsat de 1990 et 2010 a permis de déterminer sept classes d'occupation des terres. Le couvert végétal est constitué essentiellement de steppes (arbustives et herbeuses), de formations ripicoles, de formations végétales dunaires, de zones érodées, des affleurements rocheux et cuirassés, et des zones cultivées.

La différenciation entre les diverses classes thématiques (unités d'occupations des terres) est en général significative pour les images de 1990 et 2010. Les valeurs du coefficient sont globalement élevées pour les images des trois villages.

6.1.1 Qualité de la classification à Kékénéné

Pour le village de Kékénéné, le kappa est de 0,82 pour l'image de 1990 et de 0,89 pour celle de 2010 avec des précisions globales similaires variant entre 85 et 90% (Tableau 20). Les résultats de kappa ainsi obtenus prouvent que les classifications sont fiables selon la méthode de Jansen *et al.* (2008).

Tableau 20 : Valeur de la précision globale et de coefficient Kappa issues de la classification des images de 1990 et 2010 de Kékénéné

Images Landsat	Précision globale (%)	Coefficient Kappa
1990	85	0,82
2010	90	0,89

Source : Images Landsat 1990 et 2010

Les matrices de confusion indiquent qu'il n'y a pas eu de grandes confusions entre les classes lors de la classification de l'image de 1990 et 2010. (Annexes 3a et 3b). Les formations ripicoles (FR), les steppes (S), les formations végétales sur les placages sableux (FPS) et les zones érodées (ZE) ont plus de 80% des pixels bien classées pour l'image de 1990 et 2010. Des erreurs de commission et d'omission sont survenues lors de la classification. Les erreurs de commission sont respectivement pour les classes S et FPS de 20,23 et 32,91% en 1990. Sur l'image de 2010, les erreurs sont surtout commises sur les classes FPS avec une proportion de 36,67%. Des erreurs sont également omises lors des classifications. En 1990 elles sont de 16,92% pour les FR et de 19,35% pour les ZE. Pour l'image de 2010, ces erreurs sont de 19,37% pour les ZE.

Les plus faibles proportions de pixels correctement classées s'observent au niveau des deux images. Les classes concernées sont pour les deux dates (1990 et 2010), les zones cultivées

(ZC) avec respectivement des proportions de 65,83% et 56,50%. Les erreurs d'omission sont de 34,17% pour l'image de 1990 et 43,50% pour celle de 2010.

La classification utilisée n'a pas permis de bien discriminer les steppes arbustives des formations herbeuses. La confusion pourrait être due à des réponses spectrales similaires pour ces deux classes. Diallo et *al.* (2011) ont également observé la même situation dans une zone similaire au Mali. Les matrices de confusion obtenues indiquent une faible confusion pour les autres classes d'occupation des terres, en général. Les erreurs de commission entre les zones cultivées (ZC) et les placages sableux pourraient être dues au ramassage des résidus de récoltes après les récoltes au Sahel ; une autre explication possible est l'action du vent qui recouvre les limites de champs.

6.1.2 Qualité de la classification à Dampela

La précision globale de l'image de 1990 et 2010 pour le village de Dampela sont très fortes (respectivement 93 et 99%). Le coefficient de kappa est de 0,91 pour l'image de 1990 et de 0,99 pour celle de 2010 (Tableau 21). Les classifications de ces images pour ce village sont donc fiables.

Tableau 21 : Valeur de la précision globale et de coefficient Kappa issues de la classification d'images de 1990 et 2010 de Dampela

Images Landsat	Précision globale (%)	Coefficient Kappa
1990	93	0,91
2010	99	0,99

Source : Images Landsat 1990 et 2010

Les résultats des matrices de confusion montrent qu'il n'y a quasiment pas eu de confusions entre les classes lors de la classification de l'image de 1990 et 2010 (Annexes 3c et 3d). Excepté les ZC, toutes les unités d'occupation des terres ont été bien classifiées pour les deux dates à Dampela. Les pixels sont pour les deux images bien classées avec des pourcentages se situant entre 92,52 à 100 %. Cependant, quelques erreurs de commission et d'omission sont survenues lors de la classification, surtout sur l'image de 1990. Les erreurs sont surtout commises au niveau des classes FD et ZC avec respectivement des valeurs de 21,36 et 12,28%. Les erreurs omises sont également observées en 1990 surtout sur les ZC avec 27,54%.

6.1.3 Qualité de la classification à Gandéfabou Kelwélé

A Gandéfabou Kelwélé, le coefficient de kappa des images de 1990 est de 0,82 et celle de 2010 est de 0,83 avec des précisions globales similaires variant entre 85 et 86% (Tableau 22). Les résultats de kappa ainsi obtenus prouvent que les classifications sont fiables.

Tableau 22 : Valeur de la précision globale et de coefficient Kappa issues de la classification d'images de 1990 et 2010 de Gandéfabou Kelwélé

Images Landsat	Précision globale (%)	Coefficient Kappa
1990	85	0,82
2010	86	0,83

Source : Images Landsat 1990 et 2010

Dans l'ensemble, les matrices de confusion des images de 1990 et 2010 de Gandéfabou Kelwélé indiquent qu'il n'y a pas eu de grandes confusions entre les classes lors de la classification. (Annexes 3e et 3f). Les classes ZC, FR et ZE ont plus de 80% des pixels bien

classées pour l'image de 1990. Ces mêmes unités sont également bien classées en 2010 en plus des classes PE et FD avec respectivement 99,66% et 77,41% des pixels. Des erreurs de commission et d'omission sont survenues lors de la classification. Les erreurs de commission sont en 1990 de 11,66% pour la classe ZE et de 19,57% pour les ZC. Sur l'image de 2010 les erreurs sont commises sur les classes ZC (39,15%), PE (25,06%) et FD (28,91%). Les erreurs omises en 1990 sont approximativement de 10% pour les classes ZC et FR. En 2010 les erreurs omises sont observées sur la classe FD avec 22,59% des pixels incorrectement classées.

Les classes PE et FD sont incorrectement classées à 37,45 et 72,92% sur l'image de 1990. Les erreurs d'omission sont de 62,55% pour la classe PE et de 27,08% pour la classe FD. Les erreurs commises sont faibles pour ces classes avec 9,09% pour la classe PE et 5,36% pour la classe FD).

6.2 SITUATION DE L'OCCUPATION DES TERRES EN 1990 ET EN 2010

Le couvert végétal a subi durant la période retenue (1990-2010), des situations d'occupation très variables de sa superficie.

6.2.1 Etat d'occupation des terres à Kékénéné

Le terroir de Kékénéné, en 1990, est couvert par une végétation très éparse. Cette dernière est alternée des champs surtout au nord et à l'est du village (Figure 45a et Annexe 3g). Les zones érodées (zone à végétation dégradé) sont les plus dominantes avec 2621,22 ha soit 23% de la superficie totale du terroir. Viennent ensuite respectivement les formations dunaires (la végétation sur les dunes et sur les placages sableux) qui couvrent une superficie totale de 2506,97 ha, soit 22% ; les steppes, 2317,55 ha, soit 20,30 % ; les affleurements cuirassés / rocheux, 1936,00 ha, soit 17% ; les formations ripicoles, 1405,88 ha soit 12,30% et les zones

cultivées, 619,88 ha soit 5,43%. A cette date, les zones cultivées sont presque absentes sur les dunes et placages sableux et se concentrent le long des cours d'eau.

En 2010, les steppes sont toujours les plus répandues et couvrent 2995,20 ha soit 26,20% de la superficie totale du terroir. Elles sont suivies des formations ripicoles avec une superficie de 2617,70 ha, soit 23% ; de formations dunaires, 2088,98 ha, soit 18,30% ; de zones érodées, 1611,30 ha, soit 14,12 % ; de zones cultivées, 1052,10 ha, soit 9,22% et enfin, d'affleurements cuirassés / rocheux, 1042,22 ha, soit 9,14%. La carte d'occupation de 2010 indique une faible occupation de l'espace par les champs (Figure 45b).

Figure 45a : Carte d'occupation des terres en 1990 à Kékénéné

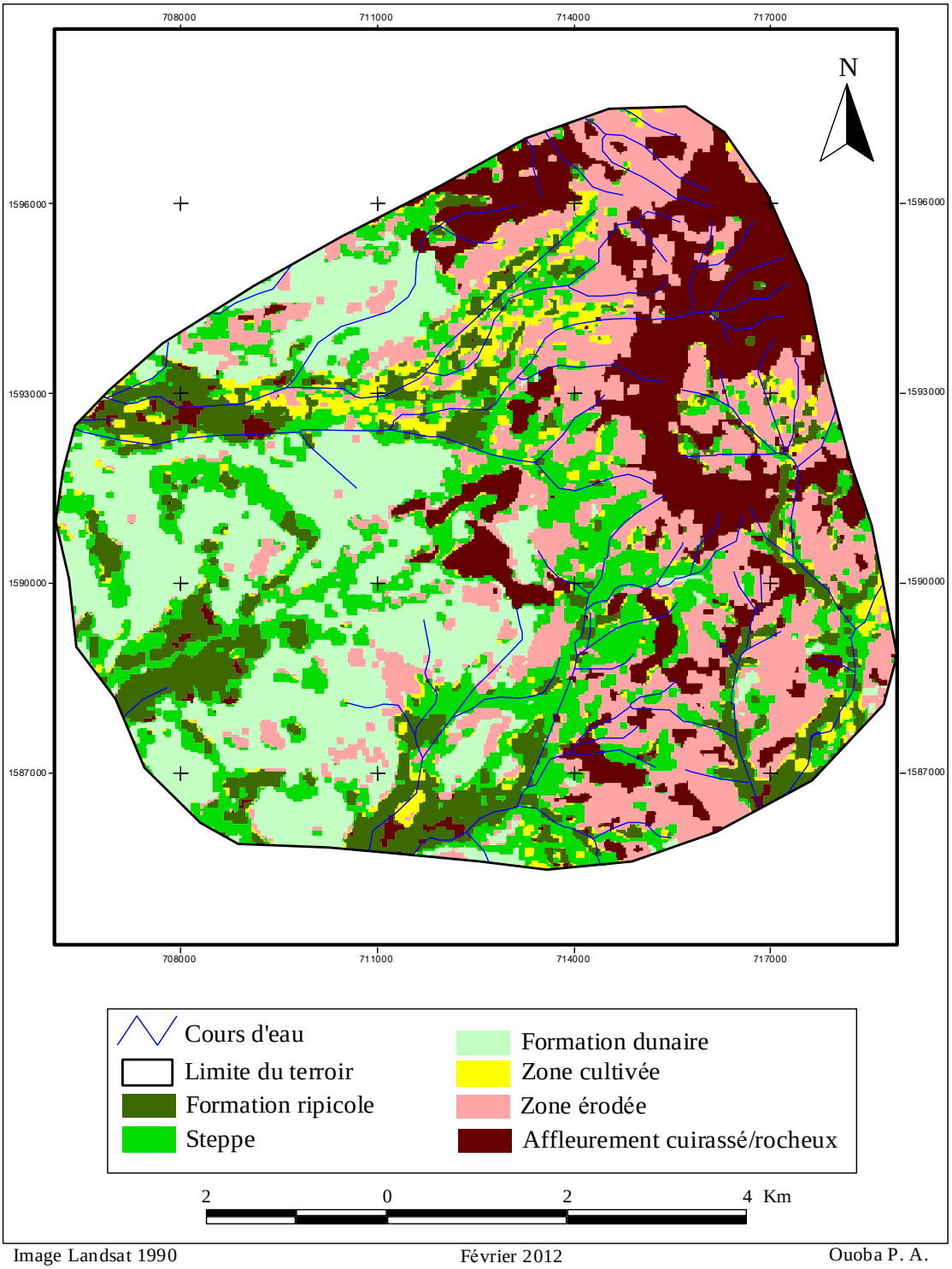


Image Landsat 1990 Février 2012 Ouoba P. A.

Figure 45b : Carte d'occupation des terres en 2010 à Kékénéné

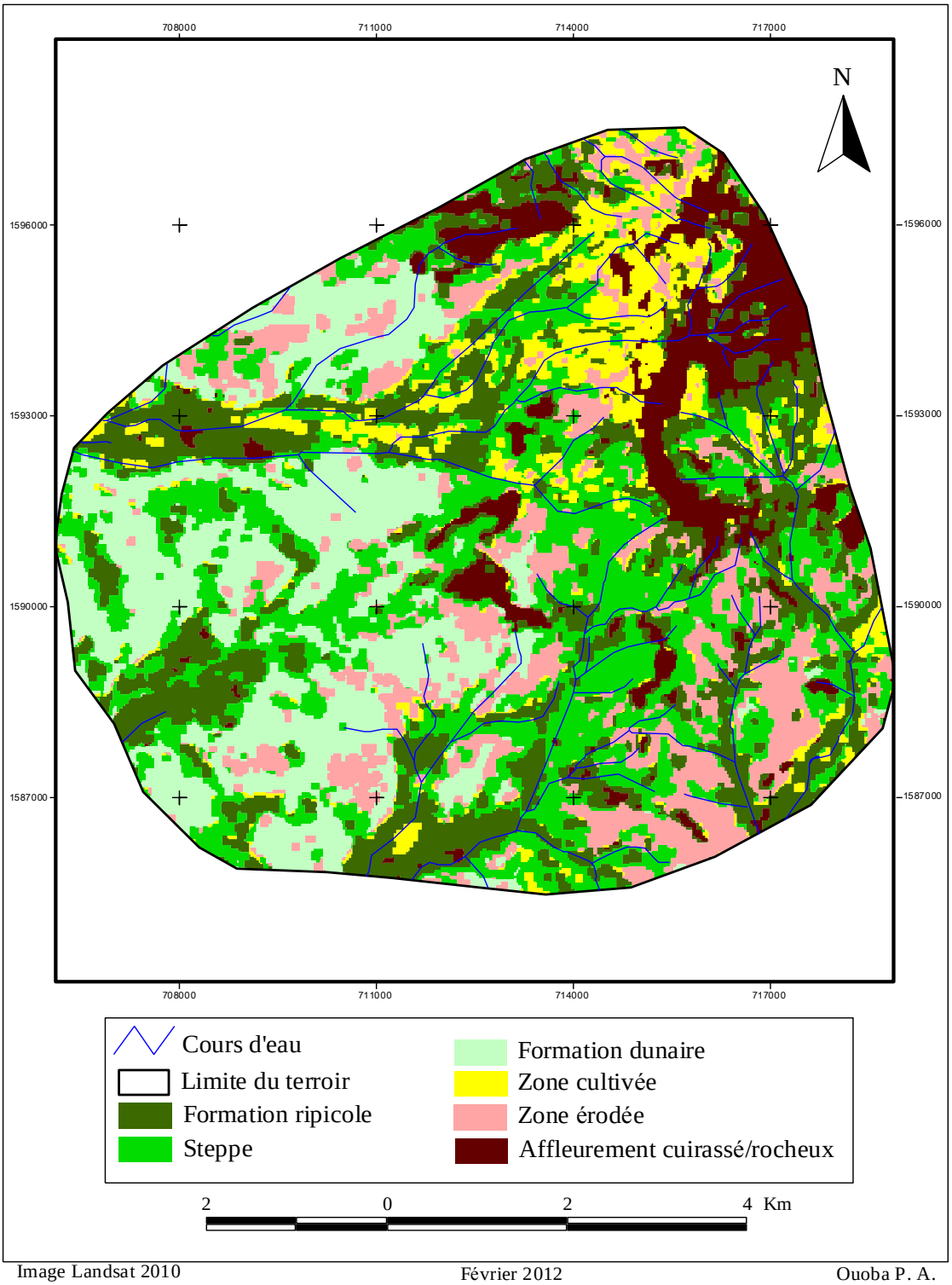


Image Landsat 2010 Février 2012 Ouoba P. A.

6.2.2 Etat d'occupation des terres à Dampela

Le paysage du village de Dampela était en 1990, majoritairement constitué de zones cultivées 1111,27 ha (soit 25,25%) répandues sur l'ensemble du terroir et beaucoup plus concentrées au centre du village. Les steppes occupaient 1084,39 ha soit 24,64%. Les formations dunaires (la végétation sur l'erg ancien et les sols à recouvrement sableux) étaient de 833,84 ha, soit 18,94%. Les zones érodées présentes au nord et au sud du village représentaient 723,74 ha, soit 16,44% de la surface du terroir. Les formations ripicoles étaient de 525,9 ha, soit 11,95%. Et enfin la proportion des affleurements cuirassés / rocheux était de 121,80 ha soit 2,78% (Figure 46a, et Annexe 3g).

En 2010, les zones érodées étaient les plus répandues avec 1420,5 ha soit 32,3% de la surface totale du village. Les autres entités les plus représentées étaient respectivement les steppes avec une superficie de 1164,78 ha, soit 26,46% ; les formations dunaires 748,91 ha, soit 17,01% ; les zones cultivées 556,45 ha, soit 12,64%, (surtout concentrées au centre du village, sur l'erg ancien) ; les formations ripicoles 472,84 ha, soit 10,74% et les affleurements cuirassés / rocheux 37,46 ha, soit 0,85% (Figure 46b Annexe 3g).

Figure 46a : Carte d'occupation des terres en 1990 à Dampela

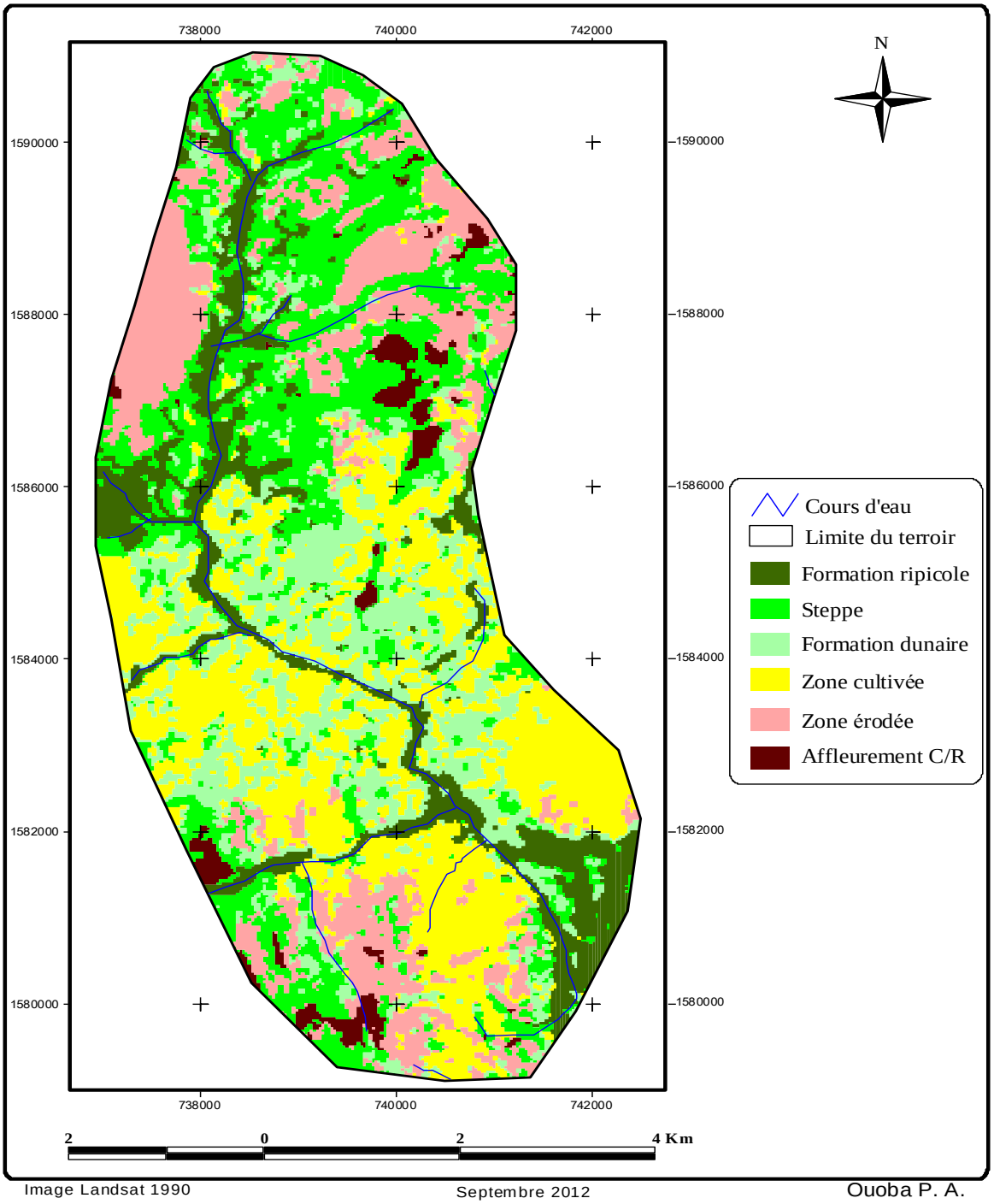
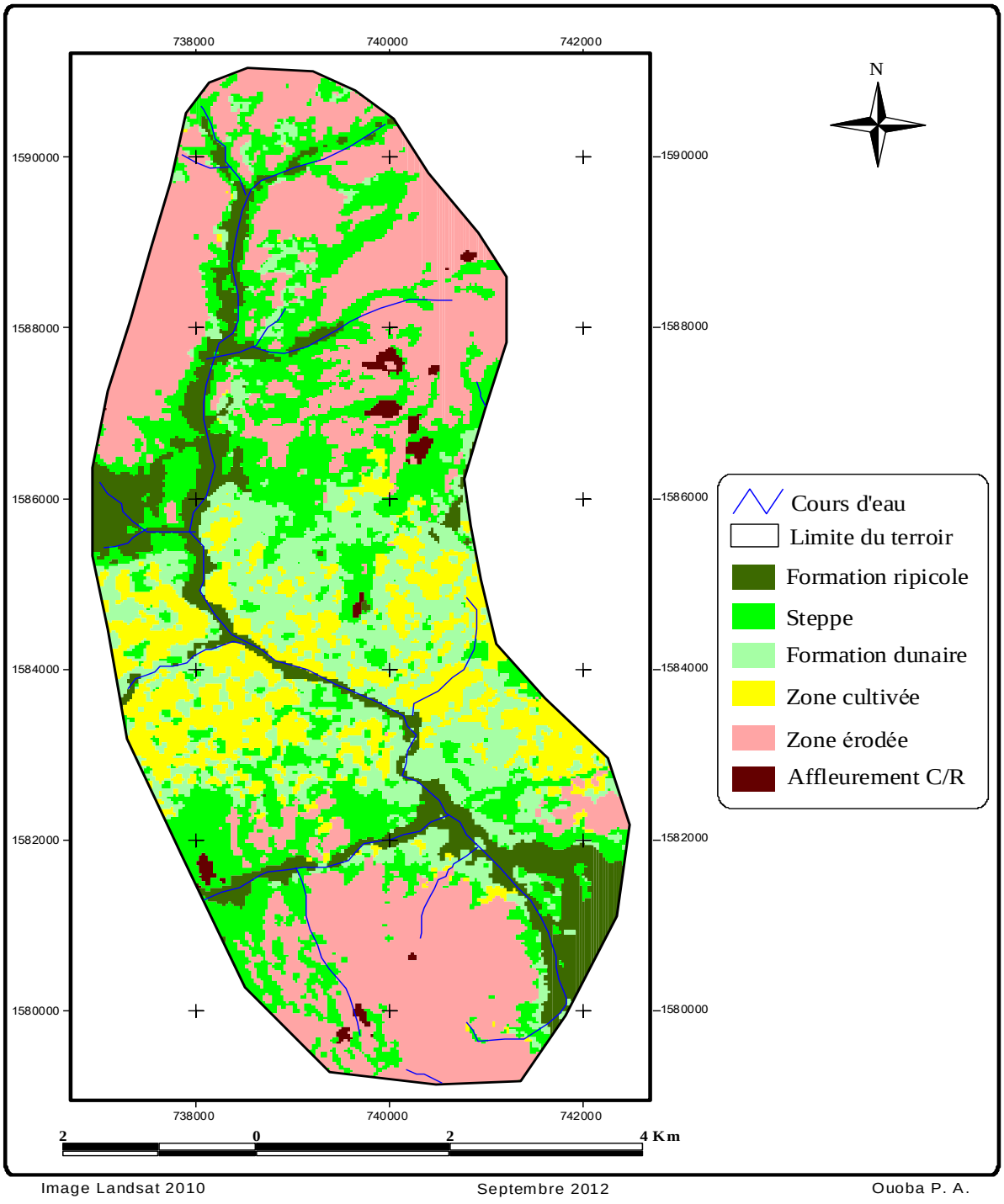


Figure 46b : Carte d'occupation des terres en 2010 à Dampela



6.2.3 Etat d'occupation des terres à Gandéfabou Kelwélé

A Gandéfabou Kelwélé l'entité du paysage la plus marquante en 1990, était la steppe, avec une superficie de 1868,60 ha soit 38,10%. Les formations dunaires occupant le nord du village avaient une superficie de 1390,82 ha soit 28,30%. Les zones cultivées principalement situés aux pieds des versants de la dune étaient de 965,9 ha, soit 19,70 %. Les zones érodées représentaient 430,8 ha, soit 8,8%. Les formations ripicoles et les d'affleurements cuirassés / rocheux occupaient respectivement 122,73 ha et 121,41ha soit 2,50 % chacune. La surface du plan d'eau était de 3,24 ha, soit 0,10% (Figure 47a).

En 2010, les formations dunaires sont les plus répandues et occupaient une superficie de 2603,11 ha soit 53,00% ; La steppe suivait avec 851,52 ha, soit 17,30%. Les zones érodées étaient de 789,30 ha, soit 16,10%. Les zones cultivées représentaient 269,35 ha, soit 5,50%. Les formations ripicoles avaient une superficie de 205,00 ha, soit 4,18%. Les affleurements cuirassés / rocheux occupaient 183,12 ha, soit 3,88%. Le plan d'eau était de 2,10 ha, soit 0,04% (Figure 47b et Annexe 3g). L'agriculture est peu remarquée.

Figure 47a : Carte d'occupation des terres en 1990 à Gandéfabou Kelwélé

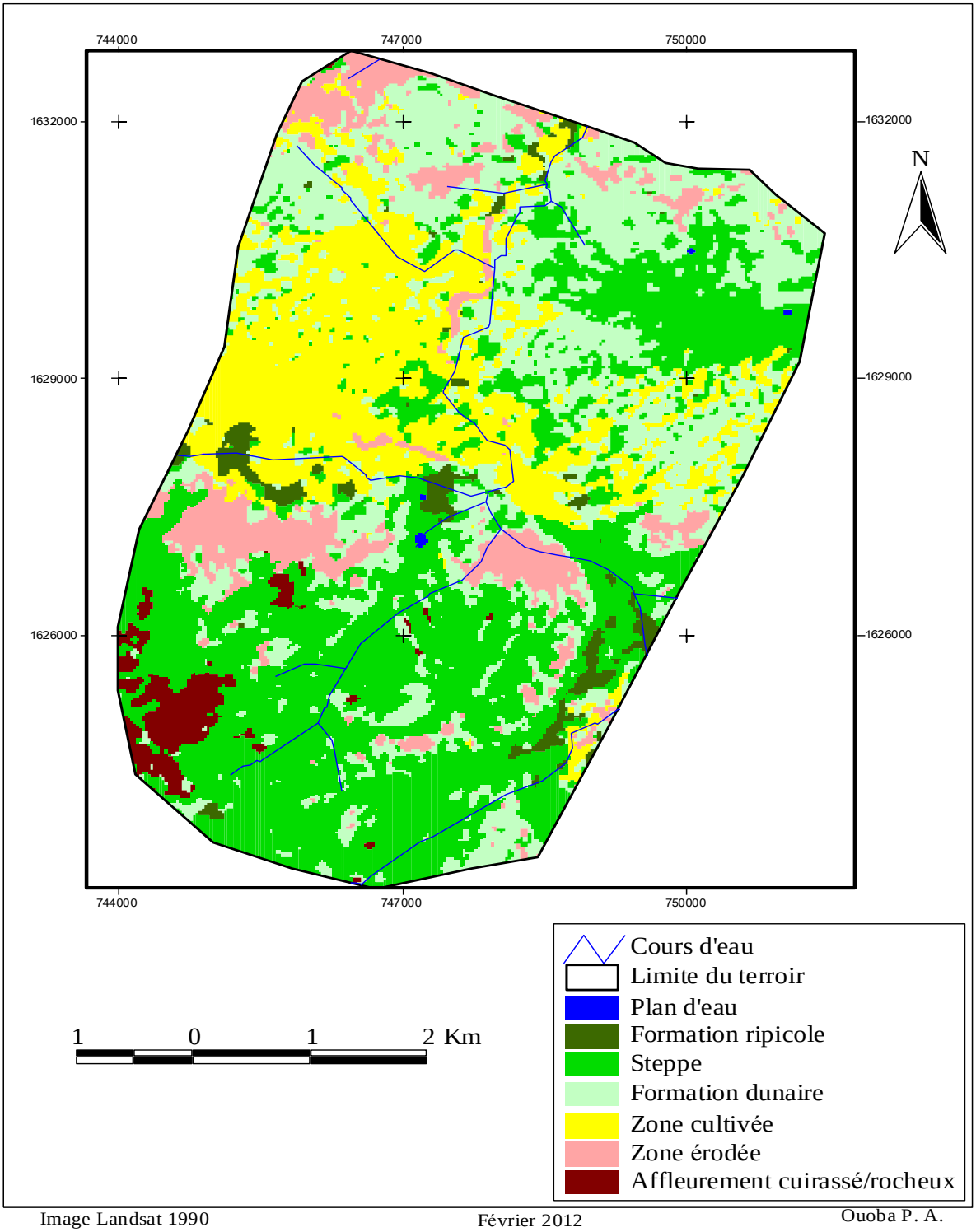
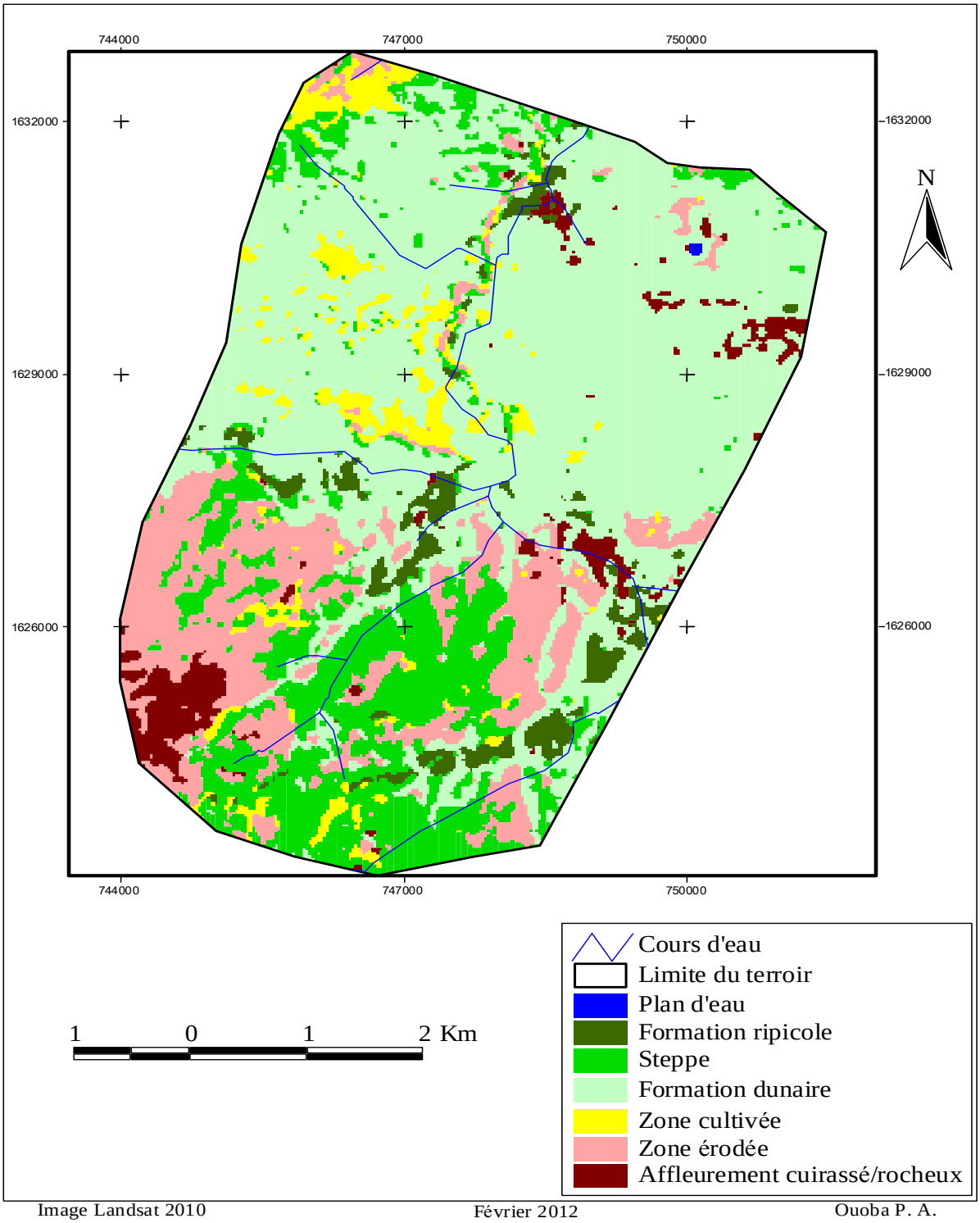


Image Landsat 1990 Février 2012 Ouoba P. A.

Figure 47b : Carte d'occupation des terres en 2010 à Gandéfabou Kelwélé



6.3 DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES

On note dans les trois villages des cas de progression et de régression ponctuelle des formations végétales entre l'année 1990 et 2010.

6.3.1 Evolution de l'occupation des terres entre 1990 et 2010 à Kékénéné

La conversion des différentes classes thématiques dans le village de Kékénéné est représentée dans le tableau 23. La classification des images a permis de faire ressortir la dynamique du couvert végétal et de l'occupation des terres à Kékénéné entre 1990 et 2010. La dynamique récente de l'occupation des terres est marquée par des transferts entre les unités.

Les progressions constatées concernent les unités du paysage qui sont la steppe, les zones cultivées et les formations ripicoles.

La proportion de la steppe a connu une légère progression de 20,30 à 26,20% (soit un taux de variation annuel de 1,46%), entre 1990 à 2010. Cette progression est faite particulièrement, au détriment de la classe des zones érodées (6,09%) et de la formation végétale sur placage sableux (1,39%). La steppe est durant cette période transformée en formation ripicole (1,92%) et en zone cultivée (0,72%). Les zones cultivées ont aussi progressé en doublant pratiquement leur proportion. Elles sont passées de 5,40% à 9,22% avec un taux annuel de conversion de + 0,2%. Le gain en superficies des zones cultivées provient surtout de la conversion des zones érodées (4,32%) et des affleurements cuirassés et rocheux (1,42%) en champs. Les champs sont convertis en d'autres classes, telles que les formations ripicoles (2,13%). La proportion des formations ripicoles a également presque doublé passant de 12,30 à 23%. (cf. tableau4) entre 1990 et 2010. Cette augmentation provient principalement de la classe thématique ACR (5,45%).

Tableau 23 : Matrice de transition d'occupation des terres à Kékénéné de 1990 à 2010 (en pourcentage)

		2010						
	Classes thématiques	**FR**	**S**	**FPS**	**ZC**	**ZE**	**ACR**	**Totaux**
1990	FR	11,70	0,53	0,00	0,10	0,00	0,00	12,30
	S	1,92	17,17	0,08	0,72	0,42	0,01	20,30
	FPS	0,01	1,39	18,08	0,08	2,41	0,00	22,00
	ZC	2,13	0,67	0,03	2,59	0,01	0,00	5,40
	ZE	1,74	6,09	0,12	4,32	10,71	0,00	23,00
	ACR	5,45	0,40	0,00	1,42	0,56	9,13	17,00
	Totaux	**23,00**	**26,20**	**18,30**	**9,22**	**14,12**	**9,14**	100

Source : Images Landsat 1990 et 2010. FR : formation ripicole; S : steppe; FPS : formation végétale sur placage sableux; ZC : zone cultivée ; ZE : zone érodée ; ACR : affleurement cuirassé et rocheux. La lecture du tableau indique une perte dans le sens horizontal et un gain ou augmentation dans le sens vertical ; le signe « - » montre qu'il n'y a pas de valeurs.

En plus des progressions, les classes thématiques qui ont connu une réduction de leur superficie, sont les formations végétales sur placage sableux, les zones érodées et les affleurements cuirassés et rocheux. On note que les zones érodées ont remarquablement perdu presque la moitié de leur superficie en passant de 23 à 14,12% entre 1990 et 2010. Cette régression est faite au profit des steppes (6,09%) et des zones cultivées (4,32%). Une des raisons de l'accroissement de la steppe est la colonisation de la végétation sur les zones érodées et sur les placages sableux. L'analyse de la pluviométrie et de la température montre que le village de Kékénéné connaît une situation de stress hydrique ces dernières années en dépit de l'augmentation du cumul pluviométrique annuel; ainsi un autre facteur qui explique l'augmentation de la steppe pourrait être l'envahissement par des espèces plus tolérantes à la sécheresse et des herbacées sur les placages sableux. Plusieurs autres travaux au Sahel ont également évoqué ces mêmes explications (Rietkerk *et al.*, 2002; Hiernaux *et al.*, 2009). Selon 89% de la population du terroir de Kékénéné (Tableau 27), le couvert végétal est en baisse avec cependant, une croissance de quelques espèces xériques telles que *Balanites*

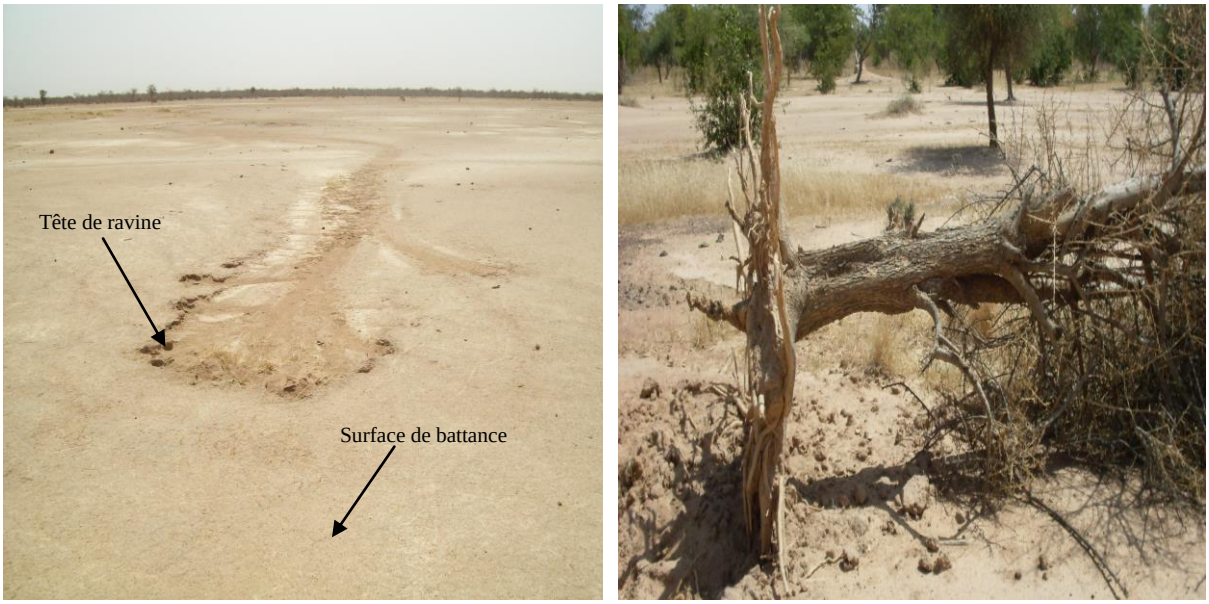
aegyptiaca et *Acacia raddiana ;* on peut en déduire une tendance à l'aridité de la zone, qui a pour conséquence une baisse de la diversité biologique.

En plus de la steppe, la proportion des formations ripicoles a quasiment doublé entre 1990 et 2010. Cette augmentation se produit principalement sur les affleurements cuirassés et rocheux. Cela s'expliquerait par la colonisation d'une formation arbustive dans les zones de fissuration ou de démantèlement qui piègent un micro sol généralement sableux ; les arbustes et les herbes insinuent de ce fait leurs racines dans les anfractuosités de la roche.

En plus des steppes et des formations ripicoles, les zones cultivées sont en progression. Bien que représentant une faible proportion de la superficie du village, les champs ont connu une augmentation importante entre 1990 et 2010, avec un taux annuel de conversion de + 0,2%. Le gain en superficie des champs, provient surtout de la conversion des zones érodées (4,32%) et des affleurements cuirassés et rocheux. Cela se traduit par une expansion des champs sur les terres marginales au nord du village probablement, lié à l'augmentation de la densité de la population entre 1996 et 2006. La majorité des sols au sud du village étant pauvres pour supporter les cultures, la plupart des champs se développent dans les bas-fonds ou sur les glacis à sols bruns subarides modaux, principalement au nord du village et sur les dépôts de sables aux pieds des massifs rocheux et buttes cuirassées.

Photo 5 et 6 : Dégradation de la végétation à Kékénéné

Surface de sol décapé par érosion hydrique *Chablis par action éolienne facilitée par l'humidité du sol*



Source : Clichés terrain, octobre 2012, Ouoba

La rareté des terres cultivables est due à la croissance démographique et aux pratiques culturales et pastorales extensives ; ces mêmes facteurs conduisent à la dégradation des terres, comme également constatée par d'autres études réalisées au Sahel (Mortimore *et al.*, 1999; Da *et al.*, 2009; Hiernaux *et al.*, 2009). La dégradation de la végétation expose les sols à l'érosion hydrique et éolienne avec pour corollaire l'accroissement du ruissellement et les multiples conséquences telles que la baisse de la fertilité des sols, l'exode des populations, les conflits entre différents acteurs exploitant les ressources naturelles (Photo 5 et 6). Des explications similaires sont données dans les études réalisées dans les même zones écologiques (Bielders *et al.*, 2002; Sterk, 2003; Visser *et al.*, 2005; Visser *et al.*, 2007; Stefanski *et al.*, 2009).

6.3.2 Evolution de l'occupation des terres entre 1990 et 2010 à Dampela

L'interprétation des images Landsat par la méthode de la classification supervisée fait ressortir la dynamique du couvert végétal et de l'occupation des terres à Dampela, entre 1990 et 2010. Le terroir a une faible disponibilité de terres arables avec des sols compactés surtout dans le nord et le sud. La matrice de transition des états d'occupation des terres révèle à Dampela, des cas de progression et de régression ponctuels des classes thématiques du paysage entre 1990 et 2010 (Tableau 24). Les unités du paysage qui ont connu une progression sont la steppe et les zones érodées.

Tableau 24 : Matrice de transition d'occupation des terres à Dampela de 1990 à 2010 (%)

		2010						
	Classes thématique	**FR**	**S**	**FD**	**ZC**	**ZE**	**ACR**	**Totaux**
1990	FR	8,72	1,75	1,27	0,15	0,06	0,00	11,95
	S	1,19	12,82	1,89	0,72	8,00	0,01	24,64
	FD	0,45	5,04	6,69	3,77	3,00	0,00	18,94
	ZC	0,35	4,03	7,02	8,00	5,85	0,00	25,25
	ZE	0,01	1,99	0,14	0,00	14,31	0,00	16,44
	ACR	0,03	0,83	0,00	0,00	1,06	0,84	2,78
	Totaux	**10,74**	**26,46**	**17,01**	**12,64**	**32,30**	**0,85**	**100**

Source : Images Landsat 1990 et 2010. FR : formation ripicole; S : steppe; FD : formation dunaire; ZC : zone cultivée ; ZE : zone érodée ; ACR : affleurement cuirassé et rocheux. La lecture du tableau indique une perte dans le sens horizontal et un gain ou augmentation dans le sens vertical ; le signe « - » montre qu'il n'y a pas de valeurs.

Les résultats de l'analyse de la matrice de transition, indiquent que la steppe et les zones érodées ont augmenté entre 1990 et 2010. La steppe a connu une légère progression de 24,64% à 26,46%. Cette croissance de la steppe est faite au détriment des formations dunaires (-5,04%) et des zones cultivées (-4,03%). De même, les zones érodées ont doublé passant de 16,44 à 32,30%. L'augmentation des superficies de ces zones est faite au détriment de la steppe (-8,00%), des zones cultivées (-5,85) et des formations dunaires (-3,00%).

Les zones cultivées ont régressé de moitié passant de 25,25% à 12,64% soit un taux de conversion annuel de - 0,6%, au profit des formations dunaires (7,02%) et des zones érodées (5,85). Les zones cultivées occupant la grande partie du terroir en 1990 (25,25%) ont régressé de moitié passant à 12,64% 2010. Cette diminution des champs est faite au profit des formations dunaires et des zones érodées. Au niveau des transferts entre unités, la conversion des champs en formation végétale dunaire pourrait s'expliquer par les confusions radiométriques lors de la classification des images satellites. Cependant, la conversion des champs en zones érodées peut se traduire par la dégradation des sols due à l'exploitation agricole plus intense des années 1990. La progression de la steppe et des zones érodées, peut s'expliquer par l'abandon des champs sur les sols marginaux au nord et sud du village. La densité de la population en 1990 était plus forte qu'en 2006. La population majoritairement agricole occupait des champs au nord et au sud du village en 1990. Les défrichements répétitifs et les mauvaises pratiques culturales, les coupes abusives pour satisfaire les besoins en énergie des populations et la demande en bois d'œuvre, ainsi que la pression pastorale ont contribué à la dégradation des sols. Une grande partie de cette zone est dénudée par endroits.

En plus de la classe des zones cultivées, les autres classes thématiques qui ont connu des régressions sont les formations dunaires, les affleurements cuirassés et rocheux et les formations ripicoles. Ce dernier a diminué de 11,95% à 10,74%. Les formations végétales des bas-fonds et le long des cours d'eau connaissent généralement une forte production végétale. La régression des formations ripicoles est imputable à l'action anthropique notamment l'agriculture et l'élevage. L'agriculture se pratique de plus en plus dans les bas-fonds du fait de l'adaptation à la variabilité climatique. En saison sèche ces bas-fonds sont surtout sujets à une forte pression du bétail domestique et transhumant sur les ressources hydrique et végétale (Eccard *et al.*, 2000; Archer, 2004; Hiernaux *et al.*, 2009; Miehe *et al.*, 2010; Okayasu *et al.*, 2010). La dégradation du couvert végétal par l'occupation souvent anarchique des bas-fonds

et des cours d'eau, couplée à l'impact de prélèvement fourrager et du piétinement des animaux peut conduire au développement d'une importante dynamique hydrique sur les terres et les berges. La dégradation de la végétation et l'occurrence des pluies abondantes observées ces dernières décennies peuvent accélérer le creusement des ravines (érosion régressive) et rendre difficile la récupération des terres. Des empreintes de tentatives de récupérations des terres dégradées par scarifiage sont observées dans le village (observation terrain 2010). Mais ces zones sont sujettes à de très fort ruissellement qui rendent caduque l'efficacité de cette technique de récupération.

La dégradation du couvert végétal entraine l'apparition de sols dénudés qui sont ainsi exposés aux intempéries du climat. Parmi les effets néfastes, on peut citer les conséquences multiples tels que la formation des croûtes superficielles, l'augmentation des ruissellements, le manque d'infiltration conduisant ainsi à une baisse progressive du niveau de la nappe phréatique, l' augmentation des risques d'inondation, et une perte de fertilité accélérée des sols, la migration des jeunes et le développement des conflits (Valentin, 1994; Boulain *et al.*, 2006; Niang, 2006; Karambiri *et al.*, 2009).

En saison sèche, l'accroissement des températures constatées ces dernières années (Figure 30) peut entrainer un tarissement précoce des mares d'eau. La hausse des températures conduit à une forte évapotranspiration (Figure 37). Cela entraîne une perte d'eau de la biomasse et des plans d'eau, mettant ainsi les végétaux dans une situation de stress hydrique.

En plus de l'érosion hydrique, l'érosion du vent est forte dans ces zones sahéliennes. Cette érosion éolienne est très importante au Sahel, et plus intense au début de la saison des pluies. Parmi les effets possibles de l'érosion éolienne, on peut citer la formation des dunes,

l'augmentation des placages sableux et la réduction de la production agricole (Visser *et al.*, 2004; Rajot *et al.*, 2009).

La succession des années sèches, l'accroissement du nombre de jours secs en août peuvent entrainer la dégradation et la mortalité de certaines espèces ligneuses. Les souches et les pieds de certains ligneux desséchés sont constatés au nord et au sud du village (Photo 7 et 8). Seules les espèces tolérant l'aridité telles que *Balanites aegyptiaca* dont la propagation est favorisée par la zoochorie, colonisent ces zones dégradées d'où un accroissement possible de la steppe.

Photos 7 et 8 : Dégradation de la végétation à Dampela

Arbre desséché dans un bas-fond

Arbustes desséchés

Source : Clichés terrain, octobre 2012, Ouoba

Une baisse et une disparition des arbres tels que *Anogeissus leiocarpus, Diospyros mespiliformis, Lannea spp, Kaya senegalensis, et Adansonia digitata* ; et un envahissement de l'espèce *Guiera senegalensis et Balanites aegyptiaca* est constatée dans le village. Ce constat est a été mentionné par la majorité de la population enquêtée sur l'évolution de la végétation (Tableau 27). La dégradation de la végétation et la mortalité des espèces ligneuses peuvent occasionner une baisse de la diversité biologique en l'absence d'une intervention humaine

assistée. Par ailleurs, le constat d'une régression de la végétation est noté dans la même zone écologique du Burkina Faso (Da *et al.*, 2009).

6.3.3 Evolution de l'occupation des terres entre 1990 et 2010 à Gandéfabou

La matrice de transition des états d'occupation des terres révèle que le terroir de Gandéfabou Kelwélé a connu des situations de progression et de régression des unités du paysage (Tableau 25). Les formations ripicoles ont presque doublé, passant de 2,50% à 4,18% au détriment de la steppe (1,89%). Les formations dunaires ont doublé passant de 28,30% à 53%. Cette croissance provient de la transformation des zones cultivées (15,52%). La superficie des affleurements cuirassés et rocheux a également augmenté de 2,50% en 1990 à 3,88% en 2010. Les zones érodées ont doublé de superficie passant de 8,80 à 16,10%.

Les classes thématiques qui ont connu des régressions sont la classe du plan d'eau et remarquablement celles qui ont le plus diminué sont la steppe, et les zones cultivées. Le plan d'eau a peu diminué entre 1990 et 2010. La steppe a diminué de moitié passant de 38,10% à 17,30%. Cette réduction est faite au profit des formations dunaires (14,63%) et des zones érodées (7,84%). Les zones cultivées ont perdu presque trois quart (3/4) de leur superficie passant de 19,70% à 5,50%, soit un taux de conversion annuel de - 0,7%. Cette réduction provient principalement de la transformation des champs en formations dunaires (15,52%).

Tableau 25 : Matrice de transition d'occupation des terres à Gandéfabou Kelwélé de 1990 à 2010 (%)

		2010							
	Classe thématique	**PE**	**FR**	**S**	**FD**	**ZC**	**ZE**	**ACR**	**Totaux**
1990	PE	**0,01**	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,10
	FR	0,00	1,29	0,32	0,74	0,08	0,04	0,02	2,50
	S	0,03	1,89	10,77	14,63	1,31	7,84	1,63	38,10
	FD	0,00	0,58	3,76	19,95	0,58	3,27	0,23	28,30
	ZC	0,00	0,37	1,08	15,52	2,47	0,26	0,00	19,70
	ZE	0,00	0,01	1,37	2,23	1,04	4,02	0,11	8,80
	ACR	0,00	0,00	0,06	0,00	0,01	0,67	1,74	2,50
	Totaux	**0,04**	**4,18**	**17,30**	**53,00**	**5,50**	**16,10**	**3,88**	**100**

Source : Images Landsat 1990 et 2010. PE : plan d'eau; FR : formation ripicole; S : steppe; FD : formation dunaire; ZC : zone cultivée ; ZE : zone érodée ; ACR : affleurement cuirassé et rocheux. La lecture du tableau indique une perte dans le sens horizontal et un gain ou augmentation dans le sens vertical ; le signe « - » montre qu'il n'y a pas de valeurs.

Les formations ripicoles ont presque doublé passant 2,50% à 4,18% au détriment de la steppe (1,89%). La progression de la production végétale peut s'expliquer par l'apport d'éléments nutritifs drainés par les eaux de ruissellement et d'un bilan hydrique plus favorable. Cette production peut également être due aux reboisements de *Prosopis juliflora* effectués le long des cours d'eau. Cette action est de ce fait salutaire et doit s'étendre sur le reste du terroir.

Les formations dunaires ont aussi doublé passant de 28,30% à 53%. L'augmentation provient principalement de la transformation des zones cultivées (15,52%) et de la steppe (14,63%). Les classes thématiques qui ont connu des régressions sont la classe du plan d'eau et remarquablement celle des zones cultivées. Cette dernière a perdu presque trois quart (3/4) de sa superficie, avec un taux de conversion annuel de - 0,7%. Cette réduction provient principalement de la transformation des champs en formations dunaires (15,52%). La conversion des zones cultivées en formations dunaires, est due à la conservation d'une partie de la dune pour le pâturage. En effet le développement des graminées est très importance sur les dunes du fait des caractéristiques du sable (Kumar *et al.*, 2002; Rietkerk *et al.*, 2002;

Niang, 2006; Ribolzi *et al.*, 2006). La conversion des steppes en formations dunaires pourrait s'expliquer par l'action du vent qui transporte et dépose les particules sableuses sur le glacis favorisant ainsi la colonisation de la végétation surtout herbeuse sur ces édifices sableux (Rajot *et al.*, 2009).

La superficie des affleurements cuirassés et rocheux a également augmenté de 2,50% en 1990 à 3,88% en 2010 ; ce qui implique une dégradation de la végétation qui recouvrait jadis ces unités.

Les zones érodées ont doublé de superficie passant de 8,80 à 16,10%. L'augmentation est surtout faite au détriment de la steppe (7,84 %). La steppe a subi de ce fait une réduction de sa superficie passant de 38,10% à 17,30%. Cette baisse est majoritairement faite au profit des formations dunaires (14,63%) et au profit des zones érodées (7,84%). La conversion des steppes en zones érodées, traduit une dégradation du couvert végétal. Cette dégradation pourrait s'expliquer par la pression de l'élevage très importante dans la zone, l'expansion des champs par reconquête due à l'abandon de la dune, l'exploitation du bois énergie et du bois d'œuvre par une population croissante et l'aridité de la zone par irrégularité de la pluie (Da *et al.*, 2009). La dégradation du couvert végétal et la mortalité de certaines espèces ligneuses ainsi que l'évolution croissante de la superficie des zones nues et dégradées sont également observées respectivement par 74% et 57% de la population locale. Elle mentionne une baisse et une disparition des arbres. Toujours selon les populations, pendant que certaines espèces sont en baisse ou en disparition (*Acacia senegal, Acacia seyal, Combretum micranthum, Ziziphus mauritiana* et *Adansonia digitata)*, d'autres apparaissent ou deviennent de plus en plus envahissantes (*Acacia raddiana* et *Balanites aegyptiaca)*. La zoochorie et l'adaptation à la sécheresse sont les facteurs explicatifs possibles de cette prolifération. Cependant, *Balanites aegyptiaca* est à son tour sous pression pastorale (Photo 9 et 10).

La dégradation du couvert végétal entraine l'apparition de sols dénudés qui sont ainsi exposés à l'impact de l'érosion hydrique et éolienne (Ozer, 2010). Parmi les effets néfastes il y a entre autres la formation des croûtes superficielles, le manque d'infiltration occasionnant ainsi une baisse progressive du niveau de la nappe phréatique, une perte de fertilité accélérée des sols, une baisse de la diversité biologique; l'accroissement de la transhumance et la mort des animaux , le développement des conflits entre les différents acteurs exploitants les ressources naturelles (Rajot *et al.*, 2003; Valentin *et al.*, 2004; Boulain *et al.*, 2006; Niang, 2006; Karambiri *et al.*, 2009).

Photo 9 et 10 : Pression pastorale sur la végétation à Gandéfabou Kelwélé

Balanites aegyptiaca rabougri

Faidherbia albida émondé

Source : Clichés terrain, mars 2012, Ouoba

6.4 PERCEPTION PAYSANNE DE L'EVOLUTION DES RESSOURCES NATURELLES

Les résultats de l'enquête générale et des focus groups ont permis de mettre en lumière les perceptions des populations locales des trois villages sites de l'étude. En général, les interlocuteurs ont une bonne perception de l'évolution de leur milieu biophysique, au cours des 20 dernières années. Ils ont répertorié de nombreux changements dans l'environnement ainsi que les facteurs inhérents.

6.4.1 Perception des ressources naturelles

Les différentes ressources naturelles dont l'évolution est perçue par les populations sont la végétation, les sols, la ressource eau et la faune sauvage.

Dans l'ensemble des trois villages, les entretiens individuels révèlent que 9% de la population mentionnent une augmentation de la superficie du couvert végétal et 24% notent une baisse de la superficie des terres dénudées (Tableau 26). Une particularité s'observe à Gandéfabou Kelwélé où 16% des répondants relatent un accroissement de la superficie du couvert végétal et 37% perçoivent une diminution de la superficie des terres dénudées (Tableau 27). Au total, 11% des interviewés des trois villages déclarent une augmentation de la densité des arbres et arbustes, et exceptionnellement, le taux de réponse est plus élevé à Gandéfabou Kelwélé (22%) que dans les autres villages sites. Les espèces ligneuses pour lesquelles les populations observent une augmentation sont *Balanites aegyptiaca* dans les trois villages, *Faidherbia albida* à Dampela et à Kékénéné, *Acacia raddiana* à Gandéfabou Kelwélé, *Piliostigma reticulatum* et l'arbuste *Guiera senegalensis* à Dampela (Annexe 3h). En ce qui concerne l'augmentation de la diversité floristique, seul 1% de la population de l'ensemble des villages sites s'est prononcé et les espèces nouvellement introduites sont *Azadirachta indica* (neem),

Eucalyptus camaldulensis (filao), *Manguifera indica* à Dampela ; *Prosopis spp* à Gandéfabou Kelwélé *; Azadirachta indica* (neem) et *Ziziphus spp*, à Kékénéné.

Des cas de stabilité de l'évolution du couvert végétal sont notés dans les trois villages à travers les interviews individuels. Pour l'ensemble des différents paramètres d'évolution de la végétation, à savoir la superficie du couvert végétal et des zones dénudées, la densité des arbres et arbustes et de la diversité floristique, les perceptions sont faibles à Kékénéné. Cependant, à Dampela 16% de la population notent une absence de variation de la superficie des terres dénudées et 22% des répondants à Gandéfabou Kelwélé affirment une stabilité de la diversité floristique (Tableau 27). Les espèces ligneuses restées stables selon les populations sont *Combretum micranthum* à Dampela, *Combretum glutinosum* surtout sur la dune à Gandéfabou Kelwélé et *Piliostigma reticulatum* à Kékénéné (Annexe 3h).

La majorité des enquêtés (81%) des trois villages sites mentionne une tendance régressive du couvert végétal (Tableau 26).

Soixante trois pour cent (63%) des interviewés perçoivent une augmentation des zones dénudées. Il n'y a pas une variation particulière du taux de réponses des enquêtés dans les trois villages, excepté à Gandéfabou Kelwélé où les taux sont relativement bas (Tableau 27). Soixante dix-neuf pour cent (79%) des répondants des trois villages perçoivent une diminution de la densité des arbres. *Anogeissus leiocarpus* et *Pterocarpus lucens* sont en baisse dans les trois villages. Les espèces ligneuses telles que *Acacia Laeta, Acacia raddiana, Boscia angustifolia, Combretum glutinosum, Diospyros mespiliformis, Mitragyna inermis, Sclerocarya birrea,* sont en diminution à Dampela et à Kékénéné. *Acacia senegal, Acacia seyal, Combretum micranthum, Ziziphus mauritiana* sont en baisse à Gandéfabou Kelwélé et à Kékénéné. Les espèces comme *Acacia nilotica, Daniella Oliveri, Grewia bicolor,* sont en baisse à Dampela. *Faidherbia albida* et *Prosopis juliflora* sont en baisse à Gandéfabou

Kelwélé. *Acacia pennata, Bauhinia rufescens, Combretum aculeatum* sont en diminution à Kékénéné (Annexe 3h).

Une baisse de la diversité floristique est perçue par 84% des interviewés dans les trois villages. Les espèces en voie de disparition selon les populations sont *Celtis integrifolia* et *Ziziphus mauritiana* à Dampela, *Faidherbia albida* à Gandéfabou Kelwélé. Pour le cas des espèces disparues, les populations ont cité *Adansonia digitata* dans les trois villages, et à Dampela c'est *Kaya senegalensis, Lannea spp, Sarcocephalus spp (ex Nauclea), Oncoba spp, Vitex doniana*.

La qualité des sols est perçue par les populations des trois terroirs. 70% des interviewés notent une tendance générale à la baisse de la fertilité des sols durant ces 20 dernières années (Tableau 26). Le taux de réponse est plus élevé à Kékénéné (80%) et moyen à Gandéfabou Kelwélé (57%). La stabilité de la fertilité des sols est bien perçue à Gandéfabou Kelwélé (31%) et faiblement perçue à Kékénéné (9%) (Tableau 27). Des cas d'amélioration de l'état chimique de ces sols sont mentionnés par les répondants dans les trois localités.

Pour la ressource eau, 83% de la population des trois villages sites notent un tarissement rapide de l'eau des mares, et 62% parlent de diminution de la quantité d'eau dans les retenus. La perception est très bonne à Kékénéné que dans les deux autres villages. La mesure de la vision de l'évolution de la faune est moyenne. Quarante trois pour cent (43%) de l'ensemble des personnes interrogées mentionnent une disparition de la faune contre 41% affirmant une stabilité dans les deux dernières décennies (Tableau 26).

Tableau 26: Synthèse de la perception du changement environnemental des 20 dernières années dans la zone d'étude

Paramètres	Variable de changement	%	Causes de changement	%
Végétation	Diminution de la superficie du couvert végétal	81	Sécheresse	43
			Irrégularité des pluies	22
			Surpâturage	7
			Mauvaise gestion	4
	Augmentation de la superficie du couvert végétal	9	Pluie	8
	Diminution de la densité des arbres et arbustes (quantité)	79	Irrégularité des pluies	35
			Surpâturage	19
			Expansion de champs (coupe bois)	18
	Arbres et Arbustes plus denses	11	Défense de couper	2
	Diminution de la diversité floristique (disparue ou en voie de disparition)	84	Sécheresse	52
			Irrégularité de pluie	24
	Augmentation de la diversité floristique (disparue ou en voie de disparition)	1	Reboisement	1
	Augmentation des superficies des zones dénudées	63	Sécheresse	45
			Augmentation de ravines (érosion de l'eau)	10
			Faiblesse ou inexistence de la protection de la végétation	2
			Erosion du vent	6
	Diminution des superficies des zones dénudées	24	Technique de récupération	8
Sol	Diminution de la fertilité des sols	70	Erosion hydrique	22
			Transport des éléments fins par le vent	16
			Peu d'apport des intrants agricoles	27
	Augmentation de la fertilité	3	Utilisation de compost	2
			Utilisation d'engrais	1
Ressource eau	Tarissement rapide de l'eau de mares actuellement	83	Moins de pluie	57
			Beaucoup de chaleur	12
			Ecoulement fort de l'eau	11
	Stabilité de la quantité d'eau	12	Cela dépend des années de forte pluie	10
	Diminution de la quantité d'eau dans les retenues	62	Moins de pluies	49
			Beaucoup d'animaux	8
Faune	Diminution des animaux sauvages	43	Disparition de la brousse	43
	Présence stable des animaux sauvages	41		

Source : Enquêtes terrain, 2011.

Tableau 27: Perception locale de l'évolution des écosystèmes des 20 dernières années

Village		Dampela					Gandéfabou					Kékénéné				
		(%)					(%)					(%)				
Catégorie	**Variables**	**A**	**S**	**D**	**NS**	**PR**	**A**	**S**	**D**	**NS**	**PR**	**A**	**S**	**D**	**NS**	**PR**
Végétation	Evolution de la superficie du couvert végétal	8	9	77	0	6	16	4	74	2	4	5	1	89	2	3
	Evolution de la densité des arbres et arbustes	11	4	82	0	3	22	9	65	0	4	3	3	86	3	5
	Evolution de la diversité floristique	1	8	83	3	5	1	22	70	1	6	1	3	93	0	3
	Evolution de la superficie des zones nues	68	16	12	2	2	57	1	37	0	5	64	4	26	2	4
Sol	Evolution de la fertilité des sols	5	16	70	8	1	1	31	57	6	5	3	9	80	5	3
Ressource eau	Evolution de la quantité d'eau des retenues d'eau	5	19	74	2	0	2	15	80	1	2	1	3	93	2	1
	Evolution de la disponibilité de l'eau	5	20	64	6	5	4	11	69	13	3	4	4	73	12	7
Faune	Evolution de la faune	2	47	35	5	11	4	35	37	9	15	1	39	55	4	1

Source : Enquêtes terrain, 2011. A, Augmenté ; S, stable ; D, diminué ; NS, Ne Sait pas; PR, Pas de Réponse

L'investigation de la tendance de l'évolution des écosystèmes dans les trois villages, à travers des focus groups (Tableau 28), révèle une concordance avec les interviews individuels sur la dynamique de la végétation. Plus de 80% des répondants dans les trois villages notent une diminution du couvert végétal. Environ 60% des interviewés indiquent une dégradation physique, à savoir le durcissement de la surface des sols à Kékénéné et à Gandéfabou Kelwélé. La population perçoit la présence de plus en plus fréquente de ravines à Kékénéné, comme témoin de l'érosion hydrique. A Gandéfabou Kelwélé, 50% des interlocuteurs affirment que les berges des bas-fonds se sont dégradées rapidement ces dernières années. 90% de personnes dans les focus groups mentionnent que le cours d'eau de Dampela est devenu temporaire il y a à peu près 15 ans. Selon 60% des interviewés, la quantité d'eau est en baisse à Gandéfabou Kelwélé. Dans les entretiens individuels ou les focus groups, les personnes interrogées ont tous mentionné la régression de la faune.

Tableau 28 Perceptions de changements environnementaux à travers les focus groups par villages. (N =10 pour chaque village)

Catégorie	Kékénéné	(%)	Dampéla	(%)	Gandéfabou	(%)
Végétation	Il n'ya plus de brousse	90	La végétation est devenue clairsemée	80	La végétation est moins dense qu'avant	60
	Il ya beaucoup plus d'arbres desséchés	70	Certaines espèces sont disparues et ou en voie de disparition	70	La végétation (surtout les herbacées) est dense par endroits	40
	Il n'y a plus suffisamment de fourrage	90	Le pâturage est très peu disponible	60	Il ya peu de pâturage	90
Sol	Les sols sont devenus peu fertiles	70	Les sols sont moins fertiles maintenant	60	Il y a plus de zones nues	60
	Il ya beaucoup de sols compactés, de zones nues et de ravines qu'avant	90	Les sols sont très dégradés actuellement	80	La surface des sols de clairières sont devenues plus dures	70
Ressource eau	Les mares environnantes tarissent plus vite qu'avant	60	Le cours d'eau est devenu temporaire et tarit vite	90	Les berges du cours d'eau s'élargissent de plus en plus vite	50
	Le ruissellement est devenu plus fort actuellement	50	Les puisards tarissent plus vite qu'avant	70	La quantité d'eau est en baisse	60
Faune	Les animaux sauvages sont rares (pintades et lièvres)	70	Les animaux sont en baisse (crocodiles ont presque disparus)	90	Les animaux ont peu diminuent (pintades sauvages, lièvres)	70

Source : Enquêtes terrain, 2011

Dans l'objectif de l'appréhension de la vision de la population sur les effets du changement climatique sur l'évolution des ressources naturelles, les résultats d'enquête sont obtenus au niveau des trois sites sur 194 personnes. Les résultats montrent des diversités de perceptions sur l'évolution des écosystèmes.

Une faible proportion des résultats des entretiens individuels (9%) et de groupe révèle que l'ensemble des populations des trois villages mentionne une amélioration de l'état du couvert végétal ces 20 dernières années (Tableau 26). Ce constat est observé dans les études réalisées dans les mêmes zones écologiques par Wezel *et al*. en 2000 et Sop *et al*. en 2011. Cependant, dans le village de Gandéfabou Kelwélé, les répondants perçoivent plus une évolution positive des espèces ligneuses et herbacées que dans les deux autres villages sites. La croissance des plantes dans ce village peut s'expliquer par la présence de la dune (Kumar *et al.*, 2002; Niang, 2006). La spécificité de la perception sur le tapis herbacée est liée à la prédominance de

l'activité d'élevage par rapport aux autres villages sites. Les espèces ligneuses en croissance, observées par les populations dans les trois villages sont *Balanites aegyptiaca* et *Faidherbia albida* à Dampela et à Kékénéné. *Acacia raddiana* est en expansion seulement à Gandéfabou Kelwélé. L'accroissement de ces trois espèces s'explique par leur adaptation aux conditions climatiques arides de la zone d'étude et est favorisé par la zoochorie qui est le transport des graines des espèces végétales par les animaux. *Piliostigma reticulatum* et l'arbuste *Guiera senegalensis* sont en croissance à Dampela surtout dans les zones cultivées (Annexe 3h). Leur augmentation est due à la facilité de régénération de leurs souches annuellement coupées pour les défrichements agricoles. L'accroissement de ces espèces ligneuses est observée ailleurs au Sahel burkinabé par les populations locales (Müller *et al.*, 2002; Maranz, 2009; Sop *et al.*, 2011). Cependant dans l'étude de Lykke *et al*. réalisée en 2004 dans la même zone du Sahel burkinabé, les populations révèlent plutôt une réduction de ces espèces.

L'augmentation de la diversité floristique est perçue par seulement 1% de la population de l'ensemble des villages sites. Une différence de perception n'est pas constatée entre village sur l'accroissement de la diversité floristique. Les espèces nouvellement introduites sont *Azadirachta indica* (neem), *Eucalyptus camaldulensis* (filao), *Manguifera indica* à Dampela ; *Prosopis spp* à Gandéfabou Kelwélé ; *Azadirachta indica* et *Ziziphus spp,* à Kékénéné. Ce même constat est confirmé dans une étude réalisée au Niger (Wezel *et al.*, 2000).

La stabilité de l'évolution du couvert végétal est mentionnée dans les trois villages à travers les interviews individuels. Les perceptions sont faibles à Kékénéné. Cependant, à Dampela 16% de la population notent une absence de variation de la superficie des terres dénudées et 22% des répondants à Gandéfabou Kelwélé affirment une stabilité de la diversité floristique (Tableau 27). Ces résultats prouvent que la population perçoit des variations sur les vingt (20) dernières années. Selon les populations de Gandéfabou Kelwélé, la diversité n'a pas évolué au

cours des 20 dernières années. Les espèces ligneuses restées stables dans les trois villages sont selon les populations *Combretum micranthum* à Dampela, *Combretum glutinosum* surtout sur la dune à Gandéfabou Kelwélé et *Piliostigma reticulatum* à Kékénéné (Annexe 3h).

La majorité des enquêtés (81%) des trois villages sites mentionne une tendance régressive du couvert végétal (Tableau 26). Ce qui prouve qu'ils sont tous du même avis sur la dégradation de la végétation. Il y a une variation particulière de perception des enquêtés dans les trois villages comme Gandéfabou Kelwélé où les taux de réponses sont relativement faibles (Tableau 27). Cela signifie que la végétation est moins dégradée à Gandéfabou Kelwélé que dans les deux autres villages d'étude sujets à une forte pression agricole. 79% des répondants des trois villages perçoivent une diminution de la densité des arbres. Ce constat est souligné par des études réalisées dans la même zone écologique au Burkina Faso et au Sénégal (Lykke *et al.*, 2004; Mbow *et al.*, 2008b; Sop *et al.*, 2011). *Acacia raddiana* qui est en augmentation à Gandéfabou Kelwélé est cependant, en baisse selon les populations de Dampela et Kékénéné. Aussi, *Faidherbia albida* en baisse à Gandéfabou Kelwélé est en croissance dans les deux autres villages. Les différentes espèces en diminution telles que *Anogeissus leiocarpus, Pterocarpus lucens, Mitragyna inermis, Grewia bicolor, Sclerocarya birrea, Combretum aculeatum* et *Combretum micranthum* sont aussi observées par les populations dans les études réalisées dans le domaine sahélien au Burkina Faso (Wezel *et al.*, 2006; Sop *et al.*, 2011). Les autres espèces en baisse perçues dans les trois villages étudiés, sont ailleurs, soit disparues (*Acacia senegal),* soit en croissance (*Acacia laeta, Acacia seyal, Acacia nilotica, Ziziphus mauritiana)* (Müller *et al.*, 2002; Lykke *et al.*, 2004; Maranz, 2009). Ce même constat s'observe aussi au Niger (Wezel *et al.*, 2000). Cette évolution différentielle de la dynamique des espèces ligneuses peut s'expliquer par les variations des conditions écologiques et de l'exploitation culturelle locale du milieu.

Environs 84% des interviewés dans les trois villages notent une baisse de la diversité floristique. Les espèces en voie de disparition selon les populations sont *Celtis integrifolia* et *Ziziphus mauritiana* à Dampela, *Faidherbia albida* à Gandéfabou Kelwélé. Pour le cas des espèces disparues, les populations ont cité *Adansonia digitata* dans les trois villages. *Kaya senegalensis, Lannea spp, Nauclea spp, Oncoba spp, Vitex doniana* ont disparu à Dampela. Similairement au Sahel burkinabé, des disparitions des espèces sont constatées (Müller *et al.*, 2002).

Dans tous les villages étudiés, les sols deviennent de plus en plus pauvres selon la majorité des populations locales (70%). On note cependant, qu'une proportion non négligeable des interlocuteurs de Dampela et Gandéfabou Kelwélé statue sur la stabilité de la fertilité des terres. L'explication possible de cette divergence de perception est liée à l'abondance de sable. Par contre à Kékénéné, la population exploite majoritairement les sols bruns subarides modaux pauvres et moins sableux. La physionomie du paysage influe donc sur la vision locale. La baisse de la fertilité des sols selon les populations est constatée dans d'autres zones écologiques similaires (Mertz *et al.*, 2012).

Les résultats dans les trois villages révèlent une différence de perception sur la dégradation des sols selon la méthode d'enquête utilisée. Au niveau des focus groups, la population perçoit plutôt la dégradation physique des sols. Les entretiens individuels font ressortir la perception de la dégradation chimique des sols. L'étude réalisée par Warren *et al*. (2003) au Niger aboutit au même constat. La différence de perception peut être attribuée à l'intérêt individuel porté sur le rendement et donc la fertilité au niveau des champs.

L'eau des mares tarit rapidement ces dernières années, affirment 83% de la population des trois villages sites. Les quantités d'eau dans les retenues diminuent d'une année à l'autre, selon 62% des répondants de l'ensemble des trois villages. Le taux de perception est plus fort à Kékénéné que dans les deux autres villages. Dans ce village, la dégradation est très importante et la plupart des sols sont compactés et donc ne favorisent pas une infiltration de l'eau. Par conséquent, la nappe phréatique n'est pas alimentée et l'eau des pluies ruisselle. Tandis qu'à Dampela et à Gandéfabou Kelwélé, le système dunaire permet une infiltration de l'eau. La disparition des animaux sauvages est moyennement perçue par les populations (43%) dans les trois villages et à travers les différents types de données. Ces assertions se rencontrent ailleurs au Sahel (Mbow *et al.*, 2008b).

6.4.2 Perception des causes d'évolution des ressources naturelles

Les réponses sur les causes d'évolution des écosystèmes ont été obtenues à travers les entretiens individuels semi structurés.

La sécheresse et l'irrégularité des pluies constituent pour la population les causes majeures du recul du couvert végétal dans les trois villages avec respectivement, plus de 50 et 20% de réponses (Tableau 26). L'autre facteur important cité par les populations est le surpâturage (19%) et l'expansion agricole (18%) dans les trois villages. 10% des enquêtés mentionnent l'érosion hydrique due au ruissellement très fort ces dernières années, qui engendre des ravines et qui déracine de grands arbres. A cela s'ajoute le vent qui, selon 6% de la population, déracine les arbres. Deux pour cent (2%) des interviewés parlent de la faiblesse ou de l'absence de protection de la végétation comme cause de dégradation.

Les causes de la baisse de la fertilité, selon 27% des répondants, seraient dues au faible apport d'intrants agricoles, à l'érosion hydrique (22%) et éolienne (16%) qui emportent les éléments nutritifs du sol. Aussi 57% de villageois dans les trois villages mentionnent-ils l'irrégularité des pluies comme cause de tarissement rapide des retenues d'eau ces dernières années. Les autres facteurs mentionnés sont la chaleur (12%) et le ruissellement fort (11%). La diminution ou la quasi disparition des animaux sauvages est selon 43% de la population, liée à l'absence d'abri, consécutive à la dégradation du couvert végétal.

Selon les populations, les causes d'évolution des écosystèmes dans les trois sites sont d'ordre naturel et humain.

La majorité des interviewés dans les trois villages affirme une tendance à la diminution du couvert végétal due surtout à la sécheresse et à l'irrégularité des pluies. Ce même constat est noté dans les travaux de Wezel (2005). Une autre cause mentionnée est le surpâturage, probablement lié à l'accroissement du bétail. C'est le cas du village de Dampela qui dispose d'une importante source d'eau souterraine et donc est devenu une zone d'abreuvage de bétail venant de différents horizons. Cependant, l'effet du surpâturage est moins perçu dans certains sites environnants de la zone d'étude (Maranz, 2009). Une autre cause mentionnée à Dampela et à Kékénéné est l'expansion agricole. Les facteurs déterminants de cette expansion agricole sont la migration agricole pour Dampela et l'orpaillage pour Kékénéné. Au Sénégal, les populations ont aussi noté l'expansion agricole comme cause de dégradation de la végétation (Mbow *et al*. 2008b). Quelques interviewés dans la présente étude affirment que l'érosion hydrique et éolienne occasionne la dégradation du couvert végétal. Ce constat est également noté dans l'étude de Visser *et al.* (2003) réalisée au Sahel. La faiblesse ou l'absence de protection de la végétation qui est faiblement évoquée, ressort dans une étude réalisée dans les zones arides en Ethiopie (Kassahun *et al.*, 2008).

Les résultats d'enquête font ressortir une perception de l'amélioration du couvert végétal. Certains interviewés ont mentionné que le couvert végétal est un peu amélioré par endroits au cours de la dernière décennie. Selon leur vision, cela peut être lié au regain de la pluviométrie.

Les causes de la baisse de la fertilité, d'après la plupart des répondants sont le faible apport d'intrants agricoles, l'érosion hydrique et éolienne qui emportent les éléments nutritifs du sol. Des études réalisées au Swaziland et en Ethiopie, révèlent la même perception (Moges *et al.*, 2007; Stringer *et al.*, 2007).

Une importante proportion des enquêtés mentionne le manque de pluie, la forte chaleur, le ruissellement fort comme cause de tarissement rapide des retenues d'eau ces dernières années. Les causes de diminution ou disparition des animaux sauvages sont, selon les villageois, liées à la presque disparition totale du couvert végétal. Cela est aussi en partie observé au Sénégal (Mbow *et al.*, 2008b).

L'analyse diachronique de l'évolution de l'occupation des terres à Kékénéné, Dampela et Gandéfabou Kelwélé présentée dans ce dernier chapitre, révèle que toutes les unités ont connu un changement entre 1990 et 2010. L'analyse de l'évolution de l'occupation des terres dans ces trois terroirs montre une tendance générale à la dégradation entre 1990 et 2010. Les principaux facteurs influençant la dégradation sont entre autres, l'agriculture extensive, la variabilité climatique, le surpâturage, les coupes, et la nature du substratum. Cette évolution engendre des conséquences écologiques et socio économiques. L'évaluation de la perception paysanne de l'évolution des ressources naturelles montre que les populations locales ont une bonne perception de l'évolution des différentes composantes de leur milieu biophysique, surtout le couvert végétal et les sols. En général, les résultats de l'étude de la perception,

montrent une dégradation des ressources naturelles. Ce qui est en concordance avec les résultats de l'analyse de l'occupation des terres par les images satellites. Selon la population, la sécheresse et l'irrégularité des pluies sont les principales causes de régression du couvert végétal. La baisse de la fertilité est selon elle, due aux manques d'apports d'éléments nutritifs.

Dans la troisième et dernière partie de la thèse portant sur l'analyse de la biomasse, de l'occupation des terres et de la perception paysanne de l'évolution des écosystèmes, on peut retenir une tendance générale à la dégradation des ressources naturelles, en particulier la végétation, dans les trois villages étudiés. Cette dégradation est confirmée par les populations qui vivent dans ce milieu. L'analyse de la biomasse révèle cependant, une évolution contrastée d'une année à l'autre, due en partie à la succession d'années sèches et pluvieuses et à la pression anthropique et pastorale.

CONCLUSION

Les principaux résultats présentés dans les chapitres trois, quatre, cinq et six, liés aux hypothèses, sont soulignés dans cette conclusion.

- **Première conclusion**

Dans la zone d'étude, il y a une évolution négative des paramètres climatiques ces vingt dernières années.

De façon générale, les résultats confirment la première hypothèse sur la tendance négative de l'évolution du climat.

L'analyse de la pluviométrie sur une longue série montre une variabilité temporelle et spatiale avec une tendance générale des précipitations à la baisse. Cependant, les deux dernières décennies (1990-2010) sont marquées par un retour à de meilleures conditions pluviométriques dans la zone d'étude avec une grande variabilité d'une année à l'autre beaucoup plus marquée que celle des décennies antérieures.

Les différents paramètres saisonniers connaissent aussi une grande variabilité. L'évolution du nombre de jours révèle une très forte fluctuation en dépit de la stabilité constatée dans l'ensemble. L'évolution du nombre de jours des pluies supérieures à 30 mm et de leur quantité montre une croissance des extrêmes pluviométriques dans les stations étudiées. La droite de tendance et les probabilités de la date de début de la saison des pluies est stable à Aribinda et faiblement à la baisse à Gorom-Gorom. Cette stabilité et baisse prouve un début précoce de la saison selon la méthode de AGRHYMET. La droite de tendance de la date de la fin des saisons de pluies est faiblement croissante à Aribinda et constance à Gorom-Gorom. La variation de la date de fin de saison est donc constante dans l'ensemble et de plus en plus

tardive selon méthode AGRHYMET. La droite de tendance de la longueur de la saison des pluies de 1991 à 2010 est en croissance dans les deux stations, avec une très forte variabilité d'une année à l'autre.

L'analyse de l'évolution des paramètres que sont, le cumul annuel de précipitation calculé avec le SPI, le nombre total de jours pluvieux, la date du début et de la fin de saison, et la longueur de la saison des pluies montrent une forte variabilité inter annuelle. Les tendances générales révèlent dans l'ensemble, une hausse ou une stabilité des valeurs de ces paramètres pluviométriques entre 1990 et 2010, avec un accroissement des extrêmes. Cependant une analyse intra-saisonnière, plus détaillée de ces paramètres montre des contrastes.

La méthode de Franquin et Cochème, pour la détermination des périodes utiles pour les cultures, la répartition des pluies extrêmes entre les mois du début et de la fin de saison, l'évolution du nombre de jours secs et les séquences sèches maximales en particulier du mois d'août a été utilisée. L'analyse révèle en général, une différence de 2 décades entre la détermination de la date de début de la saison par la méthode AGRHYMET, et celle de la date de début des semis par les courbes de Franquin et Cochème. Aussi, la date de début de la période humide qui correspond à la fin des semis, reste variable surtout à Aribinda et s'étale sur tout le mois de juillet dans plus de 50% des cas. La période post humide est très variable et est surtout marquée par une diminution des pluies. La fin de la saison utile intervient au cours de la 1ère décade du mois de septembre à Aribinda et à Gorom-Gorom, dans respectivement, 32% et 47% des cas.

Des pluies extrêmes de plus de 30 mm d'eau, s'observent en début de saison des pluies et en fin de saison. En plein saison des pluies, ces extrêmes dépassent souvent 60 mm par jour. L'analyse des séquences sèches maximales de ces 20 dernières années, montre une tendance à la hausse dans le mois de juillet à Aribinda, et dans le mois d'août dans les deux stations

étudiées. L'évolution du nombre de jours secs du mois d'août de 1990 à 2010 de la station d'Aribinda et Gorom-Gorom montre une tendance à la hausse dans les deux stations durant la même période.

Les températures moyennes annuelles de la zone d'étude (station de Dori), pour la période de 1971 à 2010, sont relativement constantes et élevées (30° C). La droite de tendance est croissante. On constate que la droite de tendance des températures moyennes annuelles durant le mois d'août est à la hausse pour la même période. L'évolution interannuelle de la vitesse du vent entre 1991 et 2010 est variable. La courbe de tendance des moyennes annuelles de la vitesse du vent est à la baisse. L'analyse de l'évolution interannuelle de l'humidité relative moyenne de 1991 à 2010, montre une variabilité d'une année à l'autre. La droite de tendance de l'humidité relative est à la baisse. L'évaluation de l'évolution interannuelle de l'ETP durant le mois d'août de 1971 à 2010 montre une tendance à l'accroissement.

La tendance d'évolution négative des différents paramètres climatiques étudiés pourrait jouer un rôle crucial dans la baisse de la productivité de la végétation dans la zone. La variabilité intra-saisonnière est donc un autre facteur important à prendre en compte pour établir un diagnostic des activités agricoles. Il serait souhaitable de revoir les critères de détermination des dates de début de la saison au Sahel. Les résultats d'étude ont montré que les dates de semis probables sont la troisième décade de juin à Aribinda et la première décade de juillet à Gorom-Gorom ; ce qui n'est pas adapté pour la culture du mil ayant un cycle long de 90 jours. Il est donc nécessaire de proposer des variétés améliorées à cycle plus court (70 jours par exemple), plus résistantes à la sécheresse (séquence sèche de 10 jours), afin d'assurer la sécurité de la production agricole dans la zone sahélienne.

- **Deuxième conclusion**

En général, les populations ont une bonne perception de l'évolution des différents paramètres climatiques, ce qui concorde dans la majorité des cas avec l'analyse des données météorologiques.

La deuxième hypothèse formulée sur la concordance des connaissances endogènes de l'évolution du climat et de l'analyse des données météorologiques est totalement confirmée. En effet, l'évaluation de la perception de l'évolution du climat montre que les interlocuteurs des trois villages ont une très bonne perception et sont en majorité unanimes sur l'évolution du début tardif, de la fin précoce de la saison des pluies et de la diminution de la longueur de celle-ci. Les résultats sur l'évolution de la quantité des pluies indiquent une perception contrastée entre les enquêtés dans les trois villages. La majorité de la population mentionne une croissance des poches de sécheresse (80% des personnes interrogées de Gandéfabou Kelwélé et plus de 60% des interviewés des deux autres villages). Une mesure de perception relativement moyenne (50%) de l'augmentation des pluies fortes (extrêmes) et de l'existence des inondations est notée dans les villages enquêtés. L'accroissement de la température durant la saison sèche et de l'hivernage, et de la fréquence des vents forts durant la saison des pluies est mentionné par la majorité des répondants des trois villages. Les causes d'évolution des paramètres climatiques sont généralement attribuées à la sanction divine et aux phénomènes naturels selon les populations enquêtées des trois villages.

La perception paysanne du début tardif, de la fin précoce de la saison et de la longueur de la saison est conforme avec l'analyse des données pluviométriques faite avec la courbe évènementielles de Franquin et Cochème. Une concordance existe aussi entre la perception paysanne de l'augmentation des poches de sécheresse et l'évolution croissante des séquences sèches en juillet et en août. On peut donc déduire que les connaissances des populations

locales sur l'évolution du climat sont une source importante pour la compréhension scientifique du changement et de la variabilité climatique.

- **Troisième conclusion**

Diverses stratégies d'adaptation sont développées par les populations pour faire face aux impacts climatiques au Sahel.

Cette hypothèse sur le développement de stratégies locales face à l'impact climatique est totalement vérifiée. Les impacts des différents paramètres climatiques selon la majorité des populations est la baisse des rendements agricoles liée aux dommages physiques causés aux plantes, l'attaque des plantes par les insectes et aussi par l'apparition des maladies. La productivité et l'activité pastorales sont aussi influencées négativement par les changements et variabilité climatiques avec les conséquences telles que le manque de pâturage et d'eau, le développement des maladies, ainsi que la mortalité des animaux.

Les résultats révèlent dans l'ensemble, une faiblesse de l'adaptation tant au niveau de l'application des mesures, qu'à celui de l'appui technique. En agriculture, les stratégies sont entre autres, l'adoption de variétés nouvelles ou améliorées, la pratique des techniques de CES, l'utilisation de la fumure organique, l'utilisation des bas-fonds, les soins des cultures, des prières, etc. En élevage, les ajustements des populations pour pallier l'influence négative du changement et de la variabilité du climat sont l'utilisation des résidus agricoles, les transhumances, l'achat des compléments alimentaires, et les soins vétérinaires. Cependant, la majorité de ces stratégies dans les sites d'étude sont réactives, et ne sont pas forcement efficaces à long terme. Les organisations locales ne sont pas suffisamment développées ou motivées pour lutter contre les changements et les variabilités climatiques. De même, les appuis conseils et la vulgarisation des techniques modernes des systèmes de production

agricoles et pastorales et des informations (prévisions météorologiques sur les changements climatiques) sont limités.

L'adaptation étant une composante essentielle du développement, il s'avère nécessaire que pour rendre ce développement local résilient et plus résistant aux contraintes et aléas climatiques, il est indispensable que les capacités des populations locales soient développées, et passent de la démarche réactive actuelle à une plus anticipative ou proactive, pour une meilleure adaptation aux changements à venir.

- **Quatrième conclusion**

La tendance générale de l'évolution de la végétation est à la dégradation dans les trois villages étudiés au cours des 20 dernières années.

Cette quatrième hypothèse sur la dégradation continue de la végétation dans la zone d'étude est pleinement confirmée. L'analyse de la dynamique récente de la végétation au Sahel à l'aide de l'ICN, et de l'évaluation des causes d'évolution de la biomasse à l'aide de l'ICV, montrent qu'il y a des tendances de croissance contrastée de la végétation, en fonction des années et des localités. Si les années 2006, 2007 et 2010 ont été marquées par une très bonne croissance de la biomasse végétale surtout dans les dernières décades d'août, 2008 et particulièrement 2009 ont connu une situation de croissance négative de la végétation. On note que les résultats sont contrastés entre les deux échelles d'étude (régionale et locale), avec une convergence sur la partie nord de la zone d'étude qui se caractérise par une croissance anormale pour toute la période d'analyse considérée.

L'évaluation des causes d'évolution montre des successions d'années sèches et d'années pluvieuses. Les années 2006 et 2007 sont considérées comme pluvieuses, suivies des années sèches 2008 et 2009 et d'une année pluvieuse 2010. L'indice ICV a révélé l'existence des

séquences de sécheresse dans le mois d'août qui est le plus pluvieux et correspondant au maximum de biomasse. A l'échelle locale, les résultats montrent que l'ICN peut être d'un grand apport dans l'appréhension de l'évolution de la biomasse.

En permettant l'analyse de l'évolution de la biomasse, et la localisation des zones affectées par la sécheresse, l'indice ICN et ICV sont des outils efficaces pour le diagnostic de la campagne agricole, et peuvent ainsi contribuer à des prises de décision en matière de stratégies d'adaptation afin de réduire la vulnérabilité des écosystèmes aux effets néfastes de la variabilité climatique; et la prévision agricole pour la sécurité alimentaire au Sahel.

L'étude de la dynamique du paysage de Kékénéné, Dampela et Gandéfabou Kelwélé à travers l'analyse diachronique de l'occupation des terres et la matrice de transition révèle que toutes les unités ont connu un changement entre 1990 et 2010. A Kékénéné, les unités qui ont connu le plus grand changement sont les zones cultivées qui ont doublé de superficies et la steppe qui a peu progressé. A Dampela, les unités qui ont connu le plus grand changement sont les zones érodées qui ont doublé de superficies et les zones cultivées qui ont été réduites de moitié. La steppe a aussi peu progressé. A Gandéfabou Kelwélé les zones érodées ont doublé de superficies, pendant que la steppe et les zones cultivées ont diminué. La diminution de l'aire des champs sur les dunes et la présence du sable ont pu contribuer à l'accroissement des formations végétales notamment herbacées entre 1990 et 2010, dont la production varie d'une année à l'autre en fonction des précipitations.

En somme l'analyse de l'évolution de l'occupation des terres dans les trois villages étudiés, montre une tendance générale à la dégradation entre 1990 et 2010, malgré l'accroissement des SPI de la zone. Les principaux facteurs influençant la dégradation dans les trois villages sont la variabilité climatique, et le surpâturage. Les autres facteurs sont l'agriculture extensive à Kékénéné, les coupes à Dampela et la nature du substratum à Gandéfabou Kelwélé. Cette

tendance d'évolution engendre des conséquences écologiques et socio-économiques, nécessitant des solutions pour une gestion durable des ressources naturelles. La tendance à la dégradation suggère des actions d'amélioration à Kékénéné et à Dampela qui sont entre autres : - la création de mise en défens d'une partie de la zone à vocation pastorale ; - la création ou le respect de couloirs à bétail ; - la forte sensibilisation pour la culture fourragère par la pratique de la régénérescence naturelle assistée ; - la récupération des zones dégradées par les techniques du CES ; - l'approfondissement des études, pour mieux cerner les situations locales variées dans le Sahel.

Pour le cas particulier de Gandéfabou Kelwélé, la proximité de ce village avec la frontière malienne et la crise transfrontalière qui prévaut dans la zone risquerait d'influencer négativement la dynamique des ressources naturelles et engendrer des relations conflictuelles entre autochtones et émigrés.

- **Cinquième conclusion**

Les populations locales possèdent des connaissances endogènes significatives qui coïncident avec l'analyse spatiale de la dynamique de leurs terroirs.

Cette hypothèse est entièrement confirmée. Les études de cas réalisées dans cette thèse montrent que les populations paysannes ont une bonne perception de l'évolution des différentes composantes de leur milieu biophysique, surtout le couvert végétal et les sols. Il n'y a pas de divergences remarquables entre les visions locales dans les trois villages. En général, les résultats de l'étude mettent en évidence à travers la vision locale, une dégradation des ressources naturelles. Les perceptions paysannes concordent avec l'analyse spatiale de la dynamique de la végétation. La sécheresse et l'irrégularité des pluies sont perçues comme principales causes de régression du couvert végétal. La baisse de la fertilité est selon la

population due aux manques d'apports d'éléments nutritifs. Les populations ne se voient pas responsable direct de dégradation des ressources naturelles, ce qui montre que leurs visions doivent être considérées dans les prises de décision en matière de gestion de l'environnement. Les perceptions et savoirs traditionnels peuvent être des sources importantes d'information pour contribuer au développement durable.

Dans cette étude, il ressort que les populations paysannes sahéliennes ont une bonne perception de l'évolution de leur milieu. Cette perception concorde avec la vision scientifique basée sur l'analyse des données météorologiques et l'approche spatiale. Selon elles, la tendance générale est à l'évolution négative des paramètres climatiques et à la dégradation des ressources naturelles, en particulier la végétation. Elles ont également mentionné que les changements et variabilités climatiques ont des impacts négatifs sur leurs activités. Face à cette situation, plusieurs stratégies d'adaptation surtout, réactives ont été développées pour y faire face.

Les résultats de cette recherche suscitent de nouveaux questionnements sur l'adaptation aux changements climatiques et la dynamique de la végétation. Les perspectives de recherche sont notamment :

- des études sur les barrières culturelles de l'adaptation aux changements climatiques au Sahel,
- davantage de recherches sur la biodiversité végétale,
- des études pour mieux appréhender l'expansion de *Balanites aegyptiaca*.

Ces recherches devraient apporter plus d'informations pour l'amélioration ou la redéfinition des stratégies d'adaptation, et pour la gestion durable et la valorisation des ressources naturelles au Sahel.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1 **Aberra, Y.** (2011). "Perceptions of climate change among members of the house of peoples' representatives in Ethiopia". *African Journal of Social Sciences*. Vol. 1, n° 3, pp. 74-91.

2 **ACCA** (2007). *Partenariat ACCA-organisations representatives des groupes à risque. Rapport d'atelier*. Sénégal, 15 p.

3 **Adger, W.N., Arnell, N.W. and Tompkins, E.L.** (2005). "Successful adaptation to climate change across scales". *Global Environmental Change.* Vol. 15, pp. 77-86.

4 **Adger, W.N., Dessai, S., ·, M.G., Hulme, M., Lorenzoni, I., Nelson·, D.R., Naess, L.O., Wolf, J. and Wreford, A.** (2009). "Are there social limits to adaptation to climate change?" *Climatic Change.* Vol. 93, pp. 335-354.

5 **Adger, W.N., Huq, S., Brown, K., Conwaya, D. and Hulme, M.** (2003). "Adaptation to climate change in the developing world". *Progress in Development Studies.* Vol. 3**,** n°3, pp. 179-195.

6 **Adiku, S.G.K., Dayananda, P.W.A., Rose, C.W. and Dowuona, G.N.N.** (1997). "An analysis of the within-season rainfall characteristics and simulation of the daily rainfall in two savanna zones in Ghana". *Agricultural and Forest Meteorology.* Vol. 86, n°1-2, pp. 51-62.

7 **Agnew, C.T. and Chappell, A.** (1999). "Drought in the Sahel". *GeoJournal.* Vol. 48, pp. 299-311.

8 **Akponikpè, P.B.I., Minet, J., Gérard, B., Defourny, P. and Bielders, C.L.** (2011). "Spatial fields' dispersion as a farmer strategy to reduce agro-climatic risk at the household level in pearl millet-based systems in the Sahel: A modeling perspective". *Agricultural and Forest Meteorology.* Vol. 151, n° 2, pp. 215-227.

9 **Ali, A.** (2010). "La variabilité et les changements climatiques au Sahel. Comprendre la situation actuelle de part l'observation". *In* Le Sahel face aux changements climatiques. Enjeux pour un développement durable. *Bulletin Mensuel, Centre Régional AGRHYMET.* Numéro spécial, pp. 17-20.

10 **Ali, A. and Lebel, T.** (2009). "The Sahelian standardized rainfall index revisited". *International Journal of Climatology.* Vol. 29, n° 12, pp. 1705-1714.

11 **Ali, A., Lebel, T. and Amani, A.** (2008). "Signification et usage de l'indice pluviométrique au Sahel". *Sécheresse.* Vol. 19, n° 4, pp. 227-235.

12 **Allen, M.R., Frame, D.J., Huntingford, C., Jones, C.D., Lowe, J.A., Meinshausen, M. and Meinshausen, N.** (2009). "Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne". *Nature.* Vol. 458, pp. 1- 4.

13 **AN** (2009). *LOI N° 034-2009/AN portant régime foncier rural* 31 p.

14 **Anyamba, A. and Tucker, C.J.** (2005). "Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981-2003". *Journal of Arid Environments.* Vol. 63, n° 3, pp. 596-614.

15 **Apata, T.G., Ogunyinka, A.I., Sanusi, R.A. and Ogunwande, S.** (2010). Effects of Global Climate Change on Nigerian Agriculture: An Empirical Analysis. *The 84th Annual Conference of the Agricultural Economics Society*, 15 p.

16 **Archer, E.R.M.** (2004). "Beyond the ''climate versus grazing'' impasse : using remote sensing to investigate the effects of grazing system choice on vegetation cover in the eastern Karoo". *Journal of Arid Environments.* Vol. 57, pp. 381-408.

17 **Ariori, S.L. and Ozer, P.** (2005). "Evolution des ressources forestières en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne au cours des 50 dernières années". *Geo-Eco-Trop.* Vol. 29, pp. 61-68.

18 **Ayanwuyi, Kuponiyi, E., Ogunlade, F.A. and JO, O.** (2010). "Farmers Perception of Impact of Climate Changes on Food Crop Production in Ogbomosho Agricultural Zone of Oyo State, Nigeria". *Global Journal of Human Social Science.* Vol. 10**,** n° 7, pp. 33-39.

19 **Ayers, J.M. and Huq, S.** (2009). "The Value of Linking Mitigation and Adaptation: A Case Study of Bangladesh". *Environmental Management.* Vol. 43, pp. 753–764.

20 **Badini, O., Stöckle, C.O., Jones, J.W., Nelson, R., Kodio, A. and Keita, M.** (2007). "A simulation-based analysis of productivity and soil carbon in response to time-controlled rotational grazing in the West African Sahel region". *Agricultural Systems.* Vol. 94, n° 1, pp. 87-96.

21 **Balme, M., Lebel, T. and Amani, A.** (2006). "Années sèches et années humides au Sahel: quo vadimus?". *Hydrological Sciences Journal.* Vol. 51, n° 2, pp. 254 - 271.

22 **Barbier, B., Yacouba, H., Karambiri, H., Zorome, M. and Some, B.** (2009). "Human Vulnerability to Climate Variability in the Sahel:Farmers' Adaptation Strategies in Northern Burkina Faso". *Environmental Management.* Vol. 43, pp. 790–803.

23 **Barrera-Bassols, N. and Zinck, J.A.** (2003). "Ethnopedology: a worldwide view on the soil knowledge of local people". *Geoderma.* Vol. 111, n° 3-4, pp. 171-195.

24 **Barrios, E., Delve, R.J., Bekunda, M., Mowo, J., Agunda, J., Ramisch, J., Trejo, M.T. and Thomas, R.J.** (2006). "Indicators of soil quality: A South-South development of a methodological guide for linking local and technical knowledge". *Geoderma.* Vol. 135, pp. 248-259.

25 **Barrios, S., Ouattara, B. and Strobl, E.** (2008). "The impact of climatic change on agricultural production: Is it different for Africa?". *Food Policy.* Vol. 33, n° 4, pp. 287-298.

26 **Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., .Wu, S. and Palutikof, J.P.** (2008). *: Le changement climatique et l'eau, document technique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Secrétariat du GIEC, Genève*, 236 p.

27 **Bégué, A., Vintrou, E., Ruelland, D., Claden, M. and Dessay, N.** (2011). "Can a 25-year trend in Soudano-Sahelian vegetation dynamics be interpreted in terms of land use change? A remote sensing approach". *Global Environmental Change* In Press, Corrected Proof, pp. 1-9.

28 **Bénié, G.B., Kaboré, S.S., Goïta, K., Courel, M.-F. and Hiernaux, P.** (2005). "Remote sensing-based spatio-temporal modeling to predict biomass in Sahelian grazing ecosystem". *Ecological Modelling.* Vol. 184, pp. 341-354.

29 **Benoît, E.** (2008). "Les changements climatiques : vulnérabilité, impacts et adaptation dans le monde de la médecine traditionnelle au Burkina Faso". *VertigO - La revue en sciences de l'environnement.* Vol. 8, n°1, pp. 1-12.

30 **Bergaoui, M. and Alouini, A.** (2001). "Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique : cas du bassin versant de Siliana en Tunisie". *Sécheresse.* Vol. 12, pp. 205-213.

31 **Berkes, F., Colding, J. and Folke, C.** (2000). "Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management". *Ecological Applications.* Vol. 10, n° 5, pp. 1251-1262.

32 **Berkes, F. and D., J.** (2001). "Adapting to climate change: social-ecological resilience in a Canadian western Arctic community". *Conservation Ecology.* Vol 5, n° 2, 18 p.

33 **Berrang-Ford, L., Ford, J.D. and Paterson, J.** (2011). "Are we adapting to climate change?". *Global Environmental Change.* Vol. 21**,** pp. 25-33.

34 **Bewket, W.** (2012). "Climate change perceptions and adaptive responses of smallholder farmers in central highlands of Ethiopia". *International Journal of Environmental Studies*, pp. 1 - 17.

35 **Bielders, C.L., Rajot, J.-L. and Amadou, M.** (2002). "Transport of soil and nutrients by wind in bush fallow land and traditionally managed cultivated fields in the Sahel". *Geoderma.* Vol. 109, n° 1-2, pp. 19-39.

36 **Biswas, A.K.** (1986). "Land use in Africa". *Land Use Policy.* Vol. 3, n° 4, pp. 247-259.

37 **Boko, M., Niang, I., Nyong, A., Vogel, C., Githeko, A., Medany, M., Osman-Elasha, B., Tabo, R. and Yanda, P.** (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge UK, ,* 433-467 p.

38 **Boulain, N., Cappelaere, B., Ramier, D., Issoufou, H.B.A., Halilou, O., Seghieri, J., Guillemin, F., Oï, M., Gignoux, J. and Timouk, F.** (2009). "Towards an understanding of coupled physical and biological processes in the cultivated Sahel - 2. Vegetation and carbon dynamics". *Journal of Hydrology.* Vol. 375, n° 1-2, pp. 190-203.

39 **Boulain, N., Cappelaere, B., Séguis, L., Gignoux, J. and Peugeot, C.** (2006). "Hydrologic and land use impacts on vegetation growth and NPP at the watershed scale in a semi-arid environment". *Reg Environ Change.* Vol. 6, pp. 147-156.

40 **Brou, Y.T. and Chaléard, J.L.** (2007). "Visions paysannes et changements environnementaux en côte d'ivoire". *Armand Colin /Annales de géographie.* Vol. 1, n° 653, pp. 65 - 87.

41 **Brown, M.E. and de Beurs, K.M.** (2008). "Evaluation of multi-sensor semi-arid crop season parameters based on NDVI and rainfall". *Remote Sensing of Environment.* Vol. 112, n°5, pp. 2261-2271.

42 **Brown, O. and Crawford, A.** (2007). "Climate change: A new threat to stability in West Africa? Evidence from Ghana and Burkina Faso". *African Security Review. Institute for Security Studies*, 10 p.

43 **Bryan, E., Deressa, T.T., Gbetibouo, G.A. and Ringler, C.** (2009). "Adaptation to climate change in Ethiopia and South Africa : options and constraints". *environmental science & policy.* Vol. 12, pp. 413 - 426.

44 **Burke, M.B., Lobell, D.B. and Guarino, L.** (2009). "Shifts in African crop climates by 2050, and the implications for crop improvement and genetic resources conservation". *Global Environmental Change.* Vol. 19, n° 3, pp. 317-325.

45 **Capecchi, V., Crisci, A., Lorenzo, G., Maselli, F. and Vignaroli, P.** (2008). "Analysis of NDVI trends and their climatic origin in the Sahel 1986–2000". *Geocarto International.* Vol. 23, n° 4, pp. 297-310.

46 **CEDAO/CSAO/OCDE/CILSS** (2008). *Le climat et les changements climatiques* 10p.

47 **CILSS-AGRHYMET** (2010). "Le Sahel face aux changements climatiques : enjeux pour un développement durable". *Bulletin mensuel, numero special*, 43 p.

48 **Cochème, J. and Franquin, P.** (1967). *Rapport technique sur une étude agroclimatique de l'Afrique sèche au sud du Sahara. Projet conjoint FAO/UNESCO/OMM*. Rome, FAO, 326 p.

49 **Corillon, C. and Gritzner, J.A.** (1984). *Environmental Change in the West African Sahel.* , Advisory Committee on the Sahel, Board on Science and Technology for International Development, Office of International Affairs, National Research Council, 74 p.

50 **Cotonnec, A., Penven, M.-J., Ganzetti, I., Elhacen, M.L.O., Soulé, A.O. and Boumédiana, A.I.** (2011). "Approches par télédétection et cartographie des espaces sahéliens mauritaniens". *CFC Le Monde des Cartes.* Vol. 207, pp. 19-32.

51 **D'Amato, N. and Lebel, T.** (1998). "On the characteristics of the rainfall events in the Sahel with a view to the analysis of climatic variability". *International Journal of Climatology.* Vol. 18, n° 9, pp. 955-974.

52 **Da, D.E.C. and Somé, Y.S.C.** (2006). "Mira gourmatche, un exemple d'occupation des terres basé sur les savoirs paysans, valables scientifiquement". *Ann. Univ. Ouaga. Nle sér. vol.004;sér;A, lettres, sc.hum soc.*, pp. 413 - 438.

53 **Da, D.E.C., Thombiano, L. and Boni, A.** (2009). "La dynamique des paysages à Oursi". *Cahier du CERLESH*, n°26, pp. 167-186.

54 **Da, D.E.C. and Yonkeu, S.** (2007) Définitions, concepts et objectifs des études en gestion des ressources naturelles et environnement, 2iE, université de Ouagadougou, PowerPoint.

55 **Dai, A., Lamb, P.J., Trenberth, K.E., Hulme, M., Jones, P.D. and Xie, P.** (2004). "The recent Sahel drought is real". *International Journal of Climatology.* Vol. 24, n°11, pp. 1323-1331.

56 **Delire, C., Ngomanda, A. and Jolly, D.** (2008). "Possible impacts of 21st century climate on vegetation in Central and West Africa". *Global and Planetary Change.* Vol. 64, pp. 3-15.

57 **Deressa, T.T., Hassan, R.M. and Ringler, C.** (2011). "Perception of and adaptation to climate change by farmers in the Nile basin of Ethiopia". *The Journal of Agricultural Science.* Vol. 149, n° 1, pp. 23-31.

58 **Diallo, H., Bamba, I., Barima, Y.S.S., Visser, M., Ballo, A., Mama, A., Vranken, I., Maiga, M. and Bogaert, J.** (2011). "Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé)". *Sécheresse.* Vol. 22, pp. 97-107.

59 Dixon, G.R., Ed. (2009). *The Impact of Climate and Global Change on Crop Production; chapter 17*. Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth, pp.307- 324.

60 **DNSA** (2011) AGRISTAT : les statistiques des productions agricoles. Burkina Faso. Fichier excel.

61 **Dodd, D.E.S. and Jolliffe, I.T.** (2001). "Early detection of the start of the wet season in semiarid tropical climates of western Africa". *International Journal of Climatology.* Vol. 21, n° 10, pp. 1251-1262.

62 **Druyan, L.M.** (2010). "Studies of 21st-century precipitation trends over West Africa". *International Journal of Climatology*, pp. n/a-n/a.

63 **Duivenbooden, N.V., Abdoussalam, S. and mohamed, A.B.** (2002). "Impact of climate change on agricultural production in the Sahel – part 2. Case study for groundnut and cowpea in Niger". *Climatic Change.* Vol. 54, pp. 349-368.

64 **Dunne, T., Western, D. and Dietrich, W.E.** (2011). "Effects of cattle trampling on vegetation, infiltration, and erosion in a tropical rangeland". *Journal of Arid Environments.* Vol. 75, pp. 58-69.

65 **Eakin, H.** (2003). "Rural Responses to Climatic Variability and Institutional Change in Central Mexico". Working Paper, 10/2002 *Center for U.S.-Mexican Studies, UC San Diego*, pp. 1- 37.

66 **Eccard, J.A., Walther, R.B. and Milton, S.J.** (2000). "How livestock grazing affects vegetation structures and small mammal distribution in the semi-arid Karoo". *Journal of Arid Environments.* Vol. 46, pp. 103-106.

67 **Eisfelder, C., Kuenzer, C. and Dech, S.** (2012). "Derivation of biomass information for semi-arid areas using remote-sensing data". *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 33, n° 9, pp. 2937-2984.

68 **Ekpoh, I.J.** (2010). "Adaptation to the Impact of Climatic Variations on Agriculture by Rural Farmers in North-Western Nigeria". *Journal of Sustainable Development.* Vol. 3, n° 4, pp. 1- 9.

69 **Emeterio, J.-L.S., Lacaze, B. and Mering, C.** (2011). "Détection des changements de la couverture végétale au Sahel durant la période 1982-2002 à partir des données NDVI et précipitation". *Revue Télédétection.* Vol. 10, n° 2-3, pp. 135-143

70 **ENEC** (2004) Enquête nationale sur les effectifs du cheptel. Ministère des ressources animales. Burkina Faso.

71 **Evans, J. and Geerken, R.** (2004). "Discrimination between climate and human-induced dryland degradation". *Journal of Arid Environments.* Vol. 57, pp. 535-554.

72 **Fairhead, J. and Scoones, I.** (2005). "Local knowledge and the social shaping of soil investments: critical perspectives on the assessment of soil degradation in Africa". *Land Use Policy.* Vol. 22, n° 1, pp. 33-41.

73 **Fall, S., Semazzi, F.H.M., Niyogi, D.D.S., Anyah, R.O. and Bowden, J.** (2006). "The spatiotemporal climate variability over Senegal and its relationship to global climate". *International Journal of Climatology.* Vol. 26, n° 14, pp. 2057-2076.

74 **FAO** (2007). *Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries: Perspective, framework and priorities*. Rome, 32 p.

75 **FAO** (2010). *Climate change in Africa: the threat to agriculture. In Programme Review. Regional Office for Africa*, 30 p.

76 **Farooquee, N.A., Majila, B.S. and Kala, C.P.** (2004). "Indigenous Knowledge Systems and Sustainable Management of Natural Resources in a High Altitude Society in Kumaun Himalaya, India". *J. Hum. Ecol.* Vol. 16, n° 1, pp. 33-42.

77 **Fensholt, R. and Rasmussen, K.** (2011). "Analysis of trends in the Sahelian 'rain-use efficiency' using GIMMS NDVI, RFE and GPCP rainfall data". *Remote Sensing of Environment.* Vol. 115, n° 2, pp. 438-451.

78 **Field, C.B., Randerson, J.T. and MalmstrOm, C.M.** (1995). "Global Net Primary Production: Combining Ecology and Remote Sensing". *Remote Sens. Environ.* Vol. 51, pp. 74-88.

79 **Fontaine, B., Roucou, P., Gaetani, M. and Marteau, R.** (2011). "Recent changes in precipitation, ITCZ convection and northern tropical circulation over North Africa (1979–2007)". *International Journal of Climatology.* Vol. 31, n° 5, pp. 633-648.

80 **Fontès, J. and Guinko, S.** (1995) Carte de la végétation et de l'occupation du sol au Burkina Faso (Notice explicative). Ouagadougou: Institut du Développement Rural (IDR), Université de Ouagadougou.

81 **FPA** (2007) L'Afrique et le changement climatique septembre. www.forumpartenariatafrique.org. Aperçu n°1. Forum Partenariat Afrique.

82 **Frank, E., Eakin, H. and Lopez-Carr, D.** (2011). "Social identity, perception and motivation in adaptation to climate risk in the coffee sector of Chiapas, Mexico". *Global Environmental Change.* Vol. 21, pp. 66-76.

83 **Frappart, F., Hiernaux, P., Guichard, F., Mougin, E., Kergoat, L., Arjounin, M., Lavenu, F., Koité, M., Paturel, J.-E. and Lebel, T.** (2009). "Rainfall regime across the Sahel band in the Gourma region, Mali". *Journal of Hydrology.* Vol. 375, n° 1-2, pp. 128-142.

84 **Funk, C.C. and Brown, M.E.** (2006). "Intra-seasonal NDVI change projections in semi-arid Africa". *Remote Sensing of Environment.* Vol. 101, n° 2, pp. 249-256.

85 **Galvin, K.A., Thornton, P.K., Boone, R.B. and Sunderland, J.** (2004). "Climate variability and impacts on east African livestock herders: the Maasai of Ngorongoro Conservation Area, Tanzania". *African Journal of Range & Forage Science.* Vol. 21, n° 3, pp. 183 - 189.

86 **Ganaba, S., Ouadba, J.M. and Bognounou, O.** (2005). "Exploitation traditionnelle des végétaux spontanés en région sahélienne du Burkina Faso". *VertigO - La revue en sciences de l'environnement.* Vol. 6**,** n° 2, pp. 1-15

87 **Garedew, E.** (2010). *Land-Use and Land-Cover Dynamics and Rural Livelihood Perspectives, in the Semi-Arid Areas of Central Rift Valley of Ethiopia* Umeå Department of Forest Resource Management. Faculty of Forest Sciences Umeå 89 p.

88 **Gautier, F., Lubes-niel, H., Sabatier, R., Masson, J.M., Paturel, J.E. and Servat, E.** (1998). "Variabilité du régime pluviométrique de l'Afrique de l'Ouest non sahélienne entre 1950 et 1989". *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques.* Vol. 43,n° 6, pp. 1-16.

89 **GIEC** (2001). *Conséquences, adaptation et vulnérabilité. Dans Bilan 2001des changements climatiques: McCarthy, J., Canziani, O., Leary, N., Dokken, D., and White, K., (eds.), Cambridge. Cambridge University Press.* , 98 p.

90 **GIEC** (2001a). *Climate Change 2001 : The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press*, 881 p.

91 **GIEC** (2007). *Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de)]. GIEC, Genève, Suisse* . 114 p.

92 **Gitay, H., Suárez, A. and Watson, R.** (2002). *Les changements climatiques et la biodiversité, Document technique V du GIEC, Secrétariat du GIEC, Genève*, 89 p.

93 **Gornall, J., Betts, R., Burke, E., Clark, R., Camp, J., Willett, K. and Wiltshire, A.** (2010). "Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century". *Phil. Trans. R. Soc. B.* Vol. 365, pp. 2973-2989.

94 **Graef, F. and Haigis, J.** (2001). "Spatial and temporal rainfall variability in the Sahel and its effects on farmers' management strategies". *Journal of Arid Environments*. Vol. 48, n°2, pp. 221-231.

95 **Haglund, E., Ndjeunga, J., Snook, L. and Pasternak, D.** (2011). "Dry land tree management for improved household livelihoods: Farmer managed natural regeneration in Niger". *Journal of Environmental Management.* In Press, Corrected Proof, pp. 1-10.

96 **Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., Russell, G., Lea, D.W. and Siddall, M.** (2007). "Climate change and trace gases". *Phil. Trans. R. Soc. A.* Vol. 365, pp. 1925-1954.

97 **Hassan, R.M.** (2010). "Implications of Climate Change forAgricultural Sector Performance in Africa: Policy Challenges and Research Agenda". *Journal of african économies.* Vol. 19, AERC Supplement 2, pp. 77-105.

98 **Hastenrath, S. and Polzin, D.** (2011). "Long-term variations of circulation in the tropical Atlantic sector and Sahel rainfall". *International Journal of Climatology.* Vol. 31, n°5, pp. 649-655.

99 **Hein, L.** (2006). "The impacts of grazing and rainfall variability on the dynamics of a Sahelian rangeland". *Journal of Arid Environments.* Vol. 64, n° 3, pp. 488-504.

100 **Hein, L., Ridder, N.d., Hiernaux, P., Leemans, R., Wit, A.d., Schaepman, M. and Eccard, J.A.** (2011). "Desertification in the Sahel: Towards better accounting for ecosystem dynamics in the interpretation of remote sensing images". *Journal of Arid Environments.* Vol. 75, pp. 1164 -1172.

101 **Herrmann, S.M., Anyamba, A. and Tucker, C.J.** (2005). "Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate". *Global Environmental Change Part A.* Vol. 15, n° 4, pp. 394-404.

102 **Hess, T.M., Stephens, W. and Maryah, U.M.** (1995). "Rainfall trends in the North East Arid Zone of Nigeria 1961-1990". *Agricultural and Forest Meteorology.* Vol. 74, n° 1-2, pp. 87-97.

103 **Heumann, B.W., Seaquist, J.W., Eklundh, L. and Jönsson, P.** (2007). "AVHRR derived phenological change in the Sahel and Soudan, Africa, 1982-2005". *Remote Sensing of Environment.* Vol. 108, n° 4, pp. 385-392.

104 **Heyd, T. and Brooks, N.** (2009). *Exploring cultural dimensions of adaptation to climate change. Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance. eds. W. Neil Adger, Irene Lorenzoni and Karen O'Brien. Published by Cambridge University Press. © Cambridge University Press* . pp. 269-282.

105 **Hiernaux, P., Ayantunde, A., Kalilou, A., Mougin, E., Gérard, B., Baup, F., Grippa, M. and Djaby, B.** (2009). "Trends in productivity of crops, fallow and rangelands in Southwest Niger: Impact of land use, management and variable rainfall". *Journal of Hydrology.* Vol. 375, n° 1-2, pp. 65-77.

106 **Hiernaux, P., Diarra, L., Trichon, V., Mougin, E., Soumaguel, N. and Baup, F.** (2009). "Woody plant population dynamics in response to climate changes from 1984 to 2006 in Sahel (Gourma, Mali)". *Journal of Hydrology.* Vol. 375, n° 1-2, pp. 103-113.

107 **Hiernaux, P. and Houérou, H.N.L.** (2006). "Les parcours du Sahel". *Sécheresse.* Vol. 17**,** n° 1-2, pp. 51-71.

108 **Hiernaux, P., Mougin, E., Diarra, L., Soumaguel, N., Lavenu, F., Tracol, Y. and Diawara, M.** (2009). "Sahelian rangeland response to changes in rainfall over two decades in the Gourma region, Mali". *Journal of Hydrology.* Vol. 375, n° 1-2, pp. 114-127.

109 **Hounkannou, C.H.** (2010). *Stratégies endogènes de maîtrise de l'eau développées par les producteurs face au changement et la variabilité climatique dans la commune de Lalo (Sud Bénin)* Bénin, Université D' Abomey Calavi 110 p.

110 **Hountondji, Y.-C., Nicolas, J., Sokpon, N. and Ozer, P.** (2005). "Mise en évidence de la résilience de la végétation sahélienne par télédétection basse résolution au Niger à la suite d'épisodes de sécheresse". *BELGEO*, pp. 499-516.

111 **Hountondji, Y.-C.H.** (2008). *Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal*, univertsité de Liège, 153 p.

112 **Huber, S., Fensholt, R. and Rasmussen, K.** (2011). "Water availability as the driver of vegetation dynamics in the African Sahel from 1982 to 2007". *Global and Planetary Change.* In Press, Corrected Proof, pp. 1-10.

113 **Hulme, M.** (2001). "Climatic perspectives on Sahelian desiccation: 1973-1998". *Global Environmental Change.* Vol. 11, n° 1, pp. 19-29.

114 **Hunt, B.G.** (2000). "Natural climatic variability and Sahelian rainfall trends". *Global and Planetary Change.* Vol. 24, pp. 107–131.

115 **Ibrahim, B., Polcher, J., Karambiri, H. and Rockel, B.** (2012). "Characterization of the rainy season in Burkina Faso and it's representation by regional climate models". *Clim Dyn*, pp. 1- 16.

116 **INSD** (1989). *Recensement général de la population en 1985: Structure par âge et sexe des villages du Burkina Faso. Institut National de la Statistique et de la Démographie (INSD): Direction de la Démographie*. Ouagadougou, Burkina Faso, 96 p.

117 **INSD** (1998). *Recensement Général de la Population et de l'Habitat du Burkina Faso: du 10 au 20 Décembre 1996: Résultats Définitifs. Fichier des villages du Burkina Faso.* . Ouagadougou, Burkina Faso, 315 p.

118 **INSD** (2009). *Recensement General de La Population et de l'Habitation (RGPH) de 2006 analyse des resultats definitifs;theme 2 :etat et structure de la population.* . Ouagadougou, Burkina Faso., 181 p.

119 **Janicot, S., Caniaux, G., Chauvin, F., de Coëtlogon, G., Fontaine, B., Hall, N., Kiladis, G., Lafore, J.P., Lavaysse, C., Lavender, S.L., Leroux, S., Marteau, R., Mounier, F., Philippon, N., Roehrig, R., Sultan, B. and Taylor, C.M.** (2011). "Intraseasonal variability of the West African monsoon". *Atmospheric Science Letters.* Vol. 12, n° 1, pp. 58-66.

120 **Jansen, L.J.M., Bagnoli, M. and Focacci, M.** (2008). "Analysis of land-cover/use change dynamics in Manica Province in Mozambique in a period of transition (1990–2004)". *Forest Ecology and Management.* Vol. 254, n° 2, pp. 308-326.

121 **Jones, P.G. and Thornton, P.K.** (2003). "The potential impacts of climate change in tropical agriculture: the case of maize in Africa and Latin America in 2055". *Global Environmental Change.* Vol. 13, pp. 51-59.

122 **Jong, R.d., Bruin, S.d., Wit, A.d., Schaepman, M.E. and Dent, D.L.** (2011). "Analysis of monotonic greening and browning trends from global NDVI time-series". *Remote Sensing of Environment.* Vol. 115, pp. 692-702.

123 **Kaboré, S.S.** (2001). *Évaluation d'un écosystème pastoral sahélien : apport de la géomatique (Oursi - Burkina Faso)*, Université de Sherbrooke 166 p.

124 **Kabré, M.** (2008). *Les stratégies d'adaptation des populations au changement climatique dans le Sahel burkinabé : cas de Belgou dans la province de Seno.* Université de Ouagadougou, 111 p.

125 **Kammerud, T.A.** (1996). "Soil Impact on Satellite Based Vegetation Monitoring in Sahelian Mali". *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography.* Vol. 78, n° 4, pp. 247-259.

126 **Kandji, S.T., Verchot, L. and Mackensen, J.** (2006). *Climate Change and Variability in the Sahel Region: Impacts and Adaptation Strategies in the Agricultural Sector.*, Word Agroforestry Centre (ICRAF), United Nations Environment Programme (UNEP), 58 p.

127 **Karambiri, H., Galiano, S.G.G., Giraldo, J.D., Yacouba, H., Ibrahim, B., Barbier, B. and Polcher, J.** (2011). "Assessing the impact of climate variability and climate change on runoff in West Africa: the case of Senegal and Nakambe River basins". *Atmospheric Science Letters.* Vol. 12, n° 1, pp. 109-115.

128 **Karambiri, H., Yacouba, H., Barbier, B., Mahe, G. and Paturel, J.E.** (2009). Charactérisation du ruissellemnet et de l'érosion de la parcelle au bassi versant en zone sahélienne : cas du pétit bassin versant de Tougou au Nord du Burkina Faso. *Joint International Convention of 8 th IAHS Scientific Assembly and 37 th IAH Congress*, pp. 1- 2.

129 **Karnieli, A., Gabai, A., Ichoku, C., Zaady, E. and Shachak, M.** (2002). "Temporal dynamics of soil and vegetation spectral responses in a semi-arid environment". *int. j. remote sensing.* Vol. 23, n°19, pp. 4073-4087.

130 **Karnieli, A., Gilad, U., Ponzet, M., Svoray, T., Mirzadinov, R. and Fedorina, O.** (2008). "Assessing land-cover change and degradation in the Central Asian deserts using satellite image processing and geostatistical methods". *Journal of Arid Environments.* Vol. 72, n° 11, pp. 2093-2105.

131 **Kassahun, A., Snyman, H.A. and Smit, G.N.** (2008). "Impact of rangeland degradation on the pastoral production systems, livelihoods and perceptions of the Somali pastoralists in Eastern Ethiopia". *Journal of Arid Environments.* Vol. 72, pp. 1265-1281.

132 **Krishnamurthy, P.K., Fisher, J.B. and Johnson, C.** (2011). "Mainstreaming local perceptions of hurricane risk into policymaking: A case study of community GIS in Mexico". *Global Environmental Change.* Vol. 21, n° 1, pp. 143-153.

133 **Krohmer, J., Hahn-Hadjali, K. and Wittig, R.** (2006). "Utilisation de la flore sauvage par des populations peules au Burkina Faso et Bénin". *Etudes flor. vég. Burkina Faso.* Vol. 10, pp. 33-48.

134 **Kumar, L., Rietkerk, M., van Langevelde, F., van de Koppel, J., van Andel, J., Hearne, J., de Ridder, N., Stroosnijder, L., Skidmore, A.K. and Prins, H.H.T.** (2002). "Relationship between vegetation growth rates at the onset of the wet season and soil type in the Sahel of Burkina Faso: implications for resource utilisation at large scales. *Ecological Modelling* ". Vol. 149 (1-2), pp. 143-152.

135 **Kurukulasuriya, P. and Mendelsohn, R.** (2006). *A ricardian analysis of the impact of climate change on african cropland. Special Series on Climate Change and Agriculture in Africa.* Centre for Environmental Economics and Policy in Africa, 62 p.

136 **Lafore, J.P., Flamant, C., Guichard, F., Parker, D.J., Bouniol, D., Fink, A.H., Giraud, V., Gosset, M., Hall, N., Höller, H., Jones, S.C., Protat, A., Roca, R., Roux, F., Saïd, F. and Thorncroft, C.** (2011). "Progress in understanding of weather systems in West Africa". *Atmospheric Science Letters.* Vol. 12, n° 1, pp. 7-12.

137 **Lambin, E.F., Geist, H.J. and Lepers, E.** (2003). "Dynamics of land -use and land-cover change in tropical regions". *Annu. Rev. Environ. Resour.* Vol. 28, pp. 205-241.

138 **Laouina, A., Aderghal, M., Karkouri, J.A., Chaker, M., Machmachi, I., Machouri, N. and Sfa, M.** (2010). "Utilisation des sols, ruissellement et dégradation des terres : le cas du secteur Sehoul, région atlantique (Maroc)". *Science et changements planétaires / Sécheresse.* Vol. 21, n° 4, pp. 309-316.

139 **Laux, P., Wagner, S., Wagner, A., Jacobeit, J., Bardossy, A. and Kunstmann, H.** (2009). "Modelling daily precipitation features in the Volta Basin of West Africa". *Int. J. Climatol.* Vol. 29, pp. 937-954.

140 **Le-Barbé, L. and Lebel, T.** (1997). "Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel during the years 1950 -1990". *Journal of hydrology.* Vol. 188-189, pp. 43-73

141 **Lebel, T. and Ali, A.** (2009). "Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime (1990-2007)". *Journal of Hydrology.* Vol. 375, n° 1-2, pp. 52-64.

142 **Leblanc, M.J., Favreau, G., Massuel, S., Tweed, S.O., Loireau, M. and Cappelaere, B.** (2008). "Land clearance and hydrological change in the Sahel: SW Niger". *Global and Planetary Change.* Vol. 61, n° 3-4, pp. 135-150.

143 **Lu, D., Mausel, P., Batistella, M. and Moran, E.** (2004). "Comparison of Land-Cover Classification Methods in the Brazilian Amazon Basin". *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.* Vol. 70, n° 6, pp. 723-731.

144 **Lykke, A.M.** (2000). "Local perceptions of vegetation change and priorities for conservation of woody-savanna vegetation in Senegal". *Journal of Environmental Management.* Vol. 59, pp. 107-120.

145 **Lykke, A.M., Kristensen, M.K. and Ganaba, S.** (2004). "Valuation of local use and dynamics of 56 woody species in the Sahel". *Biodiversity and Conservation.* Vol. 13, n° 10, pp. 1961-1990.

146 **Maddison, D.** (2006). *The Perception of and Adaptation to Climate Change in Africa. CEEPA Discussion Paper No. 10. Pretoria, South Africa: Centre for Environmental Economics and Policy in Africa.*, 56 p.

147 **Maddison, D.** (2007b). *The Perception of and Adaptation to Climate Change in Africa*, The World Bank, 53 p.

148 **Maddison, D., Manley, M. and Kurukulasuriya, P.** (2007a). *The Impact of Climate Change on African Agriculture. A Ricardian Approach. Policy research working paper*, 25 p.

149 **Manga, A., Dorego, G.S., Hadji, B.D.E. and Sané, T.** (2009). "Prédictions pluviométriques des saltigués et pratiques paysannes en pays sérère : les croyances culturelles au service de l'agriculture". *Geographia Technica.* Numéro spécial, pp. 1- 6.

150 **Maranz, S.** (2009). "Tree mortality in the African Sahel indicates an anthropogenic ecosystem displaced by climate change". *Journal of Biogeography.* Vol. 36, n° 6, pp. 1181-1193.

151 **Martens, P. and Rotmans, J.** (2002). *Transitions in a Globalising World. Swets & Zeitlinger, Lisse*, 135 p.

152 **Masse, D.** (2007). *Changements d'usage des terres dans les agro-systèmes d'Afrique sub-saharienne. Propriétés des sols et dynamique des matières organiques.* Toulouse, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse, 82 p.

153 **Mbaye, N.** (2007). *Systèmes de production et mutations des paysages ruraux dans la basse vallée du Ferlo au Sénégal* Bordeaux, Université Bordeaux III – Michel De Montaigne 317 p.

154 **Mbow, C.** (2008a). *Potentiel et dynamique des stocks de carbone des savanes soudaniennes et soudano-guinéennes du Sénégal*. Dakar, Université Cheikh Anta Diop, 335 p.

155 **Mbow, C., Mertz, O., Diouf, A., Rasmussen, K. and Reenberg, A.** (2008b). "The history of environmental change and adaptation in eastern Saloum-Senegal--Driving forces and perceptions". *Global and Planetary Change.* Vol. 64, n° 3-4, pp. 210-221.

156 **MEF** (2007). *Monographie du Sahel*, 111 p.

157 **MEF** (2010). *Schéma national d'aménagement du territoire du Burkina Faso. ATLAS CARTOGRAPHIQUE*, 93 p.

158 **Meinke, H. and Stone, R.C.** (2005). "Seasonal and inter-annual climate forecasting: the new tool for increasing preparedness to climate variability and change in agricultural planning and operations". *Climatic Change.* Vol. 70, pp. 221-253.

159 **Mertz, O., D'haen, S., Maiga, A., Bouzou-Moussa, I., Barbier, B., Diouf, A., Diallo, D., Da, E.D. and Dabi, D.** (2012). "Climate variability and environment stress in the Sudan-Sahel zone of West Africa". *AMBIO*, pp. 1-13.

160 **Mertz, O., Mbow, C., Nielsen, J.O., Maiga, A., Diallo, D., Reenberg, A., Diouf, A., Barbier, B., Moussa, I.B., Zorom, M., Ouattara, I. and Dabi, D.** (2010). "Climate factors play a limited role for past adaptation strategies in West Africa". *Ecology and Society.* Vol. 15, n° 4, pp. 25. 49.

161 **Mertz, O., Mbow, C., Reenberg, A. and Diouf, A.** (2009a). "Farmers' Perceptions of Climate Change and Agricultural Adaptation Strategies in Rural Sahel". *Environmental Management.* Vol. 43, n° 5, pp. 804-816.

162 **Mertz, O., Mbow, C., Reenberg, A., Genesio, L., Lambin, E.F., D'Haen, S., Zorom, M., Rasmussen, K., Diallo, D., Barbier, B., Moussa, I.B., Diouf, A., Nielsen, J.Ø. and Sandholt, I.** (2011). "Adaptation strategies and climate vulnerability in the Sudano-Sahelian region of West Africa". *Atmospheric Science Letters.* Vol. 12, n° 1, pp. 104-108.

163 **Meze-Hausken, E.** (2004). "Contrasting climate variability and meteorological drought with perceived drought and climate change in northern Ethiopia". *CLIMATE RESEARCH.* Vol. 27, pp. 19-31.

164 **Miehe, S., Kluge, J., Von Wehrden, H. and Retzer, V.** (2010). "Long-term degradation of Sahelian rangeland detected by 27 years of field study in Senegal". *Journal of Applied Ecology.* Vol. 47, n° 3, pp. 692-700.

165 **Milich, L. and Weiss, E.** (2000). "GAC NDVI images: Relationship to rainfall and potential evaporation in the grazing lands of The Gourma (northern Sahel) and in the croplands of the Niger-Nigeria border (southern Sahel)". *int. j. remote sensing.* Vol. 21, n° 2, pp. 261- 280.

166 **Mishra, A.K., Singh, V.P. and A, A.** (2010). "A review of drought concepts". *Journal of Hydrology.* Vol. 391, pp. 202-216.

167 **Moges, A. and Holden, N.M.** (2007). "Farmers' perceptions of soil erosion and soil fertility loss in southern Ethiopia". *Land Degrad. Develop.* Vol. 18, pp. 543–554.

168 **Mohamed, A.B., Duivenbooden, N.V. and Abdoussallam, S.** (2002). "Impact of climate change on agricultural production in the Sahel – part 1. Methodological approach and case study for millet in Niger". *Climatic Change.* Vol. 54, pp. 327–348.

169 **Mortimore, M., Harris, F.M.A. and Turner, B.** (1999). "Implications of land use change for the production of plant biomass in densely populated Sahelo-Sudanian shrub-grasslands in north-east Nigeria". *Global Ecology and Biogeography.* Vol. 8, pp. 243-256.

170 **Mortimore, M.J. and Adams, W.M.** (2001). "Farmer adaptation, change and `crisis' in the Sahel". *Global Environmental Change.* Vol. 11, n° 1, pp. 49-57.

171 **MRA** (2003). *Rapport national sur l'état des ressources génétiques animales au Burkina Faso. Ministère des Ressources Animales*, 74 p.

172 **Mubaya, C.P.** (2010). *Farmer strategies towards climate variability and change in Zimbabwe and Zambia* Bloemfontein, University of the Free State, 277 p.

173 **Müller, J. and Wittig, R.** (2002). "L'état actuel du peuplement ligneux et la perception de sa dynamique par la population dans le Sahel burkinabé - présenté à l'exemple de Tintaboora et de Kollangal Alyaakum". *Etudes flor. vég. Burkina Faso.* Vol. 6, pp. 19-30.

174 **Niang, D.** (2006). *Fonctionnement hydrique de différents types de placages sableux dans le sahel burkinabè*, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 167 p.

175 **Niasse, M., Afouda, A. and Amani, A.** (2004). *Reduire la vulnérabilité de l'Afrique de l'Ouest aux Impacts du climat sur les ressources en eau, les zones humides et la desertification: élements destratégie régionale de prépararti*on. Gland, Royaume-Un, UICN, 71 p.

176 **Nicholson, S.** (2005). "On the question of the ‘‘recovery’’ of the rains in the West African Sahel". *Journal of Arid Environments.* Vol. 63, pp. 615-641.

177 **Nicholson, S.E.** (2008). "The intensity, location and structure of the tropical rainbelt over west Africa as factors in interannual variability". *International Journal of Climatology*. Vol. 28, n° 13, pp. 1775-1785.

178 **Nicholson, S.E. and Grist, J.P.** (2001). "A conceptual model for understanding rainfall variability in the West African Sahel on interannual and interdecadal timescales". *International Journal of Climatology.* Vol. 21, n° 14, pp. 1733-1757.

179 **Nicholson, S.E., Tucker, C.J. and Ba, M.B.** (1998). "Desertification, Drought, and Surface Vegetation: An Example from the West African Sahel". *Bulletin of the American Meteorological Society*, pp. 1-15.

180 **Nicholson, S.E. and Webster, P.J.** (2007). "A physical basis for the interannual variability of rainfall in the Sahel". *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. Vol. 133, n° 629, pp. 2065-2084.

181 **Nielsen, J.Ø. and Reenberg, A.** (2010a). "Temporality and the problem with singling out climate as a current driver of change in a small West African village". *Journal of Arid Environments.* Vol. 74, pp. 464–474.

182 **Nielsen, J.Ø. and Reenberg, A.** (2010b). "Cultural barriers to climate change adaptation: A case study from Northern Burkina Faso". *Global Environmental Change.* Vol. 20, pp. 142–152.

183 **Niemeijer, D. and Mazzucato, V.** (2003). "Moving beyond indigenous soil taxonomies: local theories of soils for sustainable development". *Geoderma.* Vol. 111, n° 3-4, pp. 403-424.

184 **Nyong, A., Adesina, F. and Elasha, B.O.** (2007). "The value of indigenous knowledge in climate change mitigation and adaptation strategies in the African Sahel". *Mitig Adapt Strat Glob Change.* Vol. 12, pp. 787–797.

185 **Nzeadibe, T.C., Egbule, C.L., Chukwuone, N.A. and Agu, V.C.** (2011). *Farmers' Perception of Climate Change Governance and Adaptation Constraints in Niger Delta Region of Nigeria*, 26 p.

186 **Odekunle, T.O.** (2004). "Rainfall and the length of the growing season in Nigeria". *Int. J. Climatol.* Vol. 24, pp. 467–479.

187 **Okayasu, T., Okuro, T., Jamsran, U. and Takeuchi, K.** (2010). "Impact of the spatial and temporal arrangement of pastoral use on land degradation around animal concentration points". *Land Degrad. Develop.* Vol. 21, pp. 248-259.

188 **Olsson, L., Eklundh, L. and Ardö, J.** (2005). "A recent greening of the Sahel--trends, patterns and potential causes". *Journal of Arid Environments.* Vol. 63, n° 3, pp. 556-566.

189 **Orlove, B., Roncoli, C., Kabugo, M. and Majugu, A.** (2010). "Indigenous climate knowledge in southern Uganda: the multiple components of a dynamic regional system". *Climatic Change.* Vol. 100, pp. 243-265.

190 **OSCC** (2010). *La notion d'adaptation au changement climatique*, 6 p.

191 **Ouaga, H.N.D.** (2010). "Perceptions paysannes de la variabilité et des changements climatiques. In Le Sahel face aux changements climatiques Enjeux pour un développement durable". *Bulletin Mensuel, Centre Régional AGRHYMET.* Numéro spécial, pp. 31-32.

192 **Ouédraogo, E.K.** (2007). *Changements Climatiques : Impact sur les Rendements du Maïs au Burkina Faso*. Niamey, Centre régional AGRHYMET-CILSS, 88 p.

193 **Ouédraogo, I.** (2006). "Land use dynamics in Bieha District, Sissili Province, Southern Burkina Faso, West Africa". *Bulletin of the African and African American Studies Program (AAAS)* . Vol. 1, n° 2, pp. 1-17.

194 **Ouédraogo, I., Savadogo, P., Tigabu, M., Dayamba, S.D. and Odén, P.C.** (2011). "Systematic and random transitions of land-cover types in Burkina Faso, West Africa". *International Journal of Remote Sensing.* Vol. 32, n° 18, pp. 5229-5245.

195 **Ouédraogo, M., Dembélé, Y. and Somé, L.** (2010). "Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso". *Sécheresse.* Vol. 21, n° 2, pp. 87-96.

196 **Ovuka, M. and Lindqvist, S.** (2000). "Rainfall variability in Murang'a district, Kenya: meteorological data and farmers' perception". *Geografiska Annaler.* Vol. 82 A, pp. 1-13.

197 **Ozer, A. and Ozer, P.** (2005). "Désertification au Sahel : crise climatique ou anthropique ?" *Bull. Séanc. Acad. R. Sci. Outre-Mer Meded. Zitt. K. Acad. Overzeese Wet.* Vol. 51, pp. 395-423.

198 **Ozer, P.** (2010). *Dust variability and land dégradation in the Sahel*, 15 p.

199 **Ozer, P., Gassani, J., Hountondji, Y.-C., Niang, A.J. and Ambouta, K.** (2007). "La désertification est-elle en recul au Sahel ?" *Bois et forêts des tropiques.* Vol. 293, n° 3, pp. 23-28.

200 **Ozer, P., Hountondji, Y.-C. and Laminou Manzo, O.** (2009). "Evolution des caractéristiques pluviométriques dans l'est du Niger de 1940 a 2007". *Geo-Eco-Trop.* Vol. 33, pp. 11 - 30.

201 **Ozer, P., Hountondji, Y.-C., Niang, A.J., Karimoune, S., Manzo, O.L. and Salmon, M.** (2010). "Désertification au sahel : historique et perspectives". *BSGLg.* Vol. 54, pp. 69-84.

202 **Ozor, N. and Cynthia, N.** (2010). "Difficulties in adaptation to climate change by farmers in Enugu State, Nigeria". *Journal of Agricultural Extension.* Vol. 14, n° 2, pp. 1-17.

203 **Paeth, H., Hall, N.M.J., Gaertner, M.A., Alonso, M.D., Moumouni, S., Polcher, J., Ruti, P.M., Fink, A.H., Gosset, M., Lebel, T., Gaye, A.T., Rowell, D.P., Moufouma-Okia, W., Jacob, D., Rockel, B., Giorgi, F. and Rummukainen, M.** (2011). "Progress in regional downscaling of west African precipitation". *Atmospheric Science Letters.* Vol. 12, n° 1, pp. 75-82.

204 **Palé, S.** (2012). *Variations climatiques et production agricole : vulnérabilité paysanne et adaptation dans le Sahel*, Université de OUAGADOUGOU, 70 p.

205 **PANA** (2003). *Groupe d'expertsdu Burkina Faso. Synthèse des études de vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques :étude de cas du Burkina Faso Etapes 3, 4 et 5 du processus NAPA. Atelier de formation sur les Programmes d'Action Nationaux pour l'Adaptation (PANA) Ouagadougou, Burkina Faso 28 – 31 octobre* , 11 p.

206 **Paré, S., Savadogo, P., Tigabu, M., Ouadba, J.M. and Odén, P.C.** (2009). "Consumptive values and local perception of dry forest decline in Burkina Faso, West Africa". *Environ Dev Sustain*, pp. 1-19.

207 **Paré, S., Söderberg, U., Sandewall, M. and Ouadba, J.M.** (2008). "Land use analysis from spatial and field data capture in southern Burkina Faso, West Africa". *Agriculture, Ecosystems & Environment.* Vol. 127, n° 3-4, pp. 277-285.

208 **Patt, A.G. and Schroöter, D.** (2008). "Perceptions of climate risk in Mozambique: Implications for the success of adaptation strategies". *Global Environmental Change.* Vol. 18, pp. 458- 467.

209 **Polcher, J., Parker, D.J., Gaye, A., Diedhiou, A., Eymard, L., Fierli, F., Genesio, L., Höller, H., Janicot, S., Lafore, J.-P., Karambiri, H., Lebel, T., Redelsperger, J.-L., Reeves, C.E., Ruti, P., Sandholt, I. and Thorncroft, C.** (2011). "AMMA's contribution to the evolution of prediction and decision-making systems for West Africa". *Atmos. Sci. Let.* Vol.12, pp. 2-6.

210 **Pouchin, T., Debrie, J. and Bourcier, A.** (2002). "L'observation de la végétation de l'Afrique de l'Ouest par télédétection spatiale : l'apport de l'indice de végétation normalisé". *Science et changements planétaires / Sécheresse.* Vol. 13, n° 3, pp. 187-194.

211 **Prince, S.D., Wessels, K.J., Tucker, C.J. and Nicholson, S.E.** (2007). "Desertification in the Sahel: a reinterpretation of a reinterpretation". *Global Change Biology*. Vol. 13, n° 7, pp. 1308-1313.

212 **Proud, S.R. and Rasmussen, L.V.** (2011). "The influence of seasonal rainfall upon Sahel vegetation". *Remote Sensing Letters.* Vol. 2, n° 3, pp. 241-249.

213 **Rajot, J.-L., Karambiri, H., Ribolzi, O., Planchon, O. and Thiebaux, J.-P.** (2009). "Interaction entre érosions hydrique et éolienne sur sols sableux pâturés au Sahel : cas du bassin-versant de Katchari au nord du Burkina Faso". *Sécheresse.* Vol. 20, n° 1, pp. 131-138.

214 **Rajot, J.L., Alfaro, S.C., Gomes, L. and Gaudichet, A.** (2003). "Soil crusting on sandy soils and its influence on wind erosion". *CATENA.* Vol. 53, n° 1, pp. 1-16.

215 **Rao, K.P.C., Ndegwa, W.G., Kizito, K. and Oyoo, A.** (2011). "Climate variability and change: farmer perceptions and understanding of intra-seasonal variability in rainfall and associated risk in semi-arid Kenya". *Expl Agric.* Vol. 47, n° 2, pp. 267-291.

216 **Rasmussen, K., Fog, B. and Madsen, J.E.** (2001). "Desertification in reverse? Observations from northern Burkina Faso". *Global Environmental Change.* Vol. 11, n° 4, pp. 271-282.

217 **Reardon, T., Matlon, P. and Delgado, C.** (1988). "Coping with household-level food insecurity in drought-affected areas of Burkina Faso". *World Development.* Vol. 16, n° 9, pp. 1065-1074.

218 **Regassa, S., Givey, C. and Castillo, G.E.** (2010). *The rain doesn't not come on time anymore. Poverty, vulnerability ant climate variability in Ethiopia*, Oxfam, 45 p.

219 **Reid, P. and Vogel, C.** (2006). "Living and responding to multiple stressors in South Africa--Glimpses from KwaZulu-Natal". *Global Environmental Change.* Vol. 16, n° 2, pp. 195-206.

220 **Reij, C., Tappan, G. and Smale, M.** (2009). Agroenvironmental Transformation in the Sahel. Another Kind of "Green Revolution" 2020 Vision Initiative *IFPRI Discussion Paper 00914*, pp. 1-52.

221 **Requier-Desjardins, M.** (2010). "Impacts des changements climatiques sur l'agriculture au Maroc et en Tunisie et priorités d'adaptation" *Les Notes d'analyse du CIHEAM*, n° 56, pp. 1-15.

222 **Retzer, V.** (2006). "Impacts of grazing and rainfall variability on the dynamics of a Sahelian rangeland revisited (Hein, 2006)—new insights from old data". *Journal of Arid Environments.* Vol. 67, pp. 157-164.

223 **Ribolzi, O., Hermida, M., Karambiri, H., Delhoume, J.P. and Thiombiano, L.** (2006). "Effects of aeolian processes on water infiltration in sandy Sahelian rangeland in Burkina Faso". *CATENA.* Vol. 67, n° 3, pp. 145-154.

224 **Rietkerk, M., Ouedraogo, T., Kumar, L., Sanou, S., Langevelde, F.v., Kiema, A., Koppel, J.v.d., Ande, J.v., Hearne, J., Skidmore, A.K., Ridder, N.d., Stroosnijder, L. and Prins, H.H.T.** (2002). "Fine-scale spatial distribution of plants and resources on a sandy soil in the Sahel". *Plant and Soil.* Vol. 239, pp. 69–77.

225 **Rodriguez-Fonseca, B., Janicot, S., Mohino, E., Losada, T., Bader, J., Caminade, C., Chauvin, F., Fontaine, B., Garc´ıa-Serrano, J., Gervois, S., Joly, M., Polo, I., Ruti, P., Roucou, P. and Voldoire, A.** (2011). "Interannual and decadal SST-forced responses of the West African monsoon". *Atmos. Sci. Let.* Vol. 12, pp. 67-74

226 **Rojas, O., Vrieling, A. and Rembold, F.** (2011). "Assessing drought probability for agricultural areas in Africa with coarse resolution remote sensing imagery". *Remote Sensing of Environment.* Vol. 115, n° 2, pp. 343-352.

227 **Roncoli, C.** (2006). "Ethnographic and participatory approaches to research on farmers' responses to climate predictions". *CLIMATE RESEARCH.* Vol. 33, pp. 81–99.

228 **Rosenzweig, C., Casassa, G., Karoly, D.J., Imeson, A., Liu, C., Menzel, A., Rawlins, S., Root, T.L., Seguin, B. and Tryjanowski, P.** (2007). *Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK*, 131 p.

229 **Roudier, P., Sultan, B., Quirion, P., Baron, C., Alhassane, A., Traoré, S.B. and Muller, B.** (2011). "An ex-ante evaluation of the use of seasonal climate forecasts for millet growers in SW Niger". *Int. J. Climatol*, pp. 1-13.

230 **Salinger, M.J.** (2005). "Climate variability and change: past, present and future – an overview". *Climatic Change.* Vol. 70, pp. 9-29.

231 **Sanogo, F.** (2010). *Systèmes de production sahéliens face aux changements climatiques* Ouagadougou/Burkina Faso, Université de 104 p.

232 **Sanon, H.O.** (2007). *The Importance of Some Sahelian Browse Species as Feed for Goats* Suède, Swedish University of Agricultural Sciences 72 p.

233 **Sarr, B.** (2006). *INSTAT+ en bref manuel d'utilisation destiné aux ingénieurs en agrométéorologie et en météorologie aéronautique*, Département formation et recherche, CILSS, 74 p.

234 **Sarr, B.** (2012). "Present and future climate change in the semi-arid region of West Africa: a crucial input for practical adaptation in agriculture". *Atmos. Sci. Let.* Vol. 13, pp. 108-112.

235 **Sawadogo, J.M.** (2007). "Le Burkina Faso et le déclin du régime des pluies. Politiques, paysans et activistes face aux changements climatiques. http://www.un.org/french/ecosocdev/geninfo/afrec/newrelfr/changements-climatiques-3.html. (consulté en avril 2011)."

236 **Schlaepfer, R.** (2003). *Cours Ecologie du Paysage : une introduction*, 53 p.

237 **Seaquist, J.W., Hickler, T., Eklundh, L., Ardö, J. and Heumann, B.W.** (2009). "Disentangling the effects of climate and people on Sahel vegetation dynamics". *Biogeosciences.* Vol. 6, pp. 469-477.

238 **Seguin, B.** (2003). "Adaptation des systèmes de production agricole au changement climatique". *Geoscience.* Vol. 335, pp. 569-575.

239 **Seo, S.N., Mendelsohn, R., Dinar, A., Hassan, R. and Kurukulasuriya, P.** (2009). "A Ricardian Analysis of the Distribution of Climate Change Impacts on Agriculture across Agro-Ecological Zones in Africa". *Environ Resource Econ.* Vol. 43, pp. 313-332.

240 **Sivakumar, M.V.K.** (1988). "Predicting rainy season potential from the onset of rains in Southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa". *Agricultural and Forest Meteorology.* Vol. 42, n° 4, pp. 295-305.

241 **Sivakumar, M.V.K.** (1990). "Exploiting rainy season potential from the onset of rains in the Sahelian zone of West Africa". *Agricultural and Forest Meteorology.* Vol. 51, n° 3-4, pp. 321-332.

242 **Slegers, M.F.W.** (2008). "If only it would rain": Farmers' perceptions of rainfall and drought in semi-arid central Tanzania". *Journal of Arid Environments.* Vol. 72, n° 11, pp. 2106-2123.

243 **Smit, B., Burton, I., Klein, R.J.T. and Wandel, J.** (2000). "An anatomy of adaptation to climate change and variability". *Climatic Change.* Vol. 45, pp. 223-251.

244 **Sop, T.K., Oldeland, J., Schmiedel, U., Ouedraogo, I. and Thiombiano, A.** (2011). "Population structure of three woody species in four ethnic domains of the sub-sahel of Burkina Faso". *Land Degradation & Development*, pp. 1-17.

245 **Speranza, C.I., Kiteme, B., Ambenje, P., Wiesmann, U. and Makali, S.** (2010). "Indigenous knowledge related to climate variability and change: insights from droughts in semi-arid areas of former Makueni District, Kenya". *Climatic Change.* Vol. 100, pp. 295-315.

246 **Stefanski, R. and Sivakumar, M.V.K.** (2009). "Impacts of Sand and Dust Storms on Agriculture and Potential Agricultural Applications of a SDSWS *IOP". Conf. Series: Earth and Environmental Science* **7**, pp. 1-7.

247 **Stellmes, M., Udelhoven, T., Röder, A., Sonnenschein, R. and Hill, J.** (2010). "Dryland observation at local and regional scale -- Comparison of Landsat TM/ETM+ and NOAA AVHRR time series". *Remote Sensing of Environment.* Vol.114, n°10, pp. 2111-2125.

248 **Stephenne, N. and Lambin, E.F.** (2004). "Scenarios of land-use change in Sudano-sahelian countries of Africa to better understand driving forces". *GeoJournal* . Vol. 61, pp. 365–379.

249 **Sterk, G.** (2003). "Causes, consequences and control of wind erosion in Sahelian Africa: a review". *Land Degradation & Development.* Vol. 14, n° 1, pp. 95-108.

250 **Sterk, G., Herrmann, L. and Bationo, A.** (1996). "Wind-blown nutrient transport and soil productivity changes in southwest Niger". *Land Degradation & Development.* Vol. **7, n°** 4, pp. 325-335.

251 **Stringer, L.C. and Reed, M.S.** (2007). "Land degradation assessment in Southern Africa : Integrating local and scientific knowledge bases". *Land Degrad. Develop.* Vol. 18, pp. 99-116.

252 **Sultan, B., Baron, C., Dingkuhn, M., Sarr, B. and Janicot, S.** (2005). "Agricultural impacts of large-scale variability of the West African monsoon". *Agricultural and Forest Meteorology.* Vol. 128, n° 1-2, pp. 93-110.

253 **Sylla, M.B., Dell'Aquila, A., Ruti, P.M. and Giorgi, F.** (2010). "Simulation of the intraseasonal and the interannual variability of rainfall over West Africa with RegCM3 during the monsoon period". *Int. J. Climatol.* Vol. 30, pp. 1865-1883.

254 **Tarhule, A.** (2005). "Damaging rainfall and flooding: the other Sahel hazards". *Climatic Change.* Vol. 72, pp. 355–377.

255 **Tarhule, A.** (2011). Climate Change Adaptation in Developing Countries: Beyond Rhetoric. Climate Variability – Some Aspects, Challenges and Prospects. pp. 163 -180.

256 **Tarhule, A. and Woo, M.-k.** (1998). "Changes in rainfall characteristics in northern Nigeria". *Int. J. Climatol.* Vol. 18, pp. 1261-1271.

257 **Thomas, D.S.G., Twyman, C., Osbahr, H. and Hewitson, B.** (2007). "Adaptation to climate change and variability: farmer responses to intra-seasonal precipitation trends in South Africa". *Climatic Change.* Vol. 83, pp. 301–322.

258 **Thornton, P.K. and Herrero, M.** (2009). *The inter-linkages between rapid growth in livestock production, climate change, and the impacts on water resources, land use, and deforestation. ILRI, PO Box 30709, Nairobi, Kenya* 81 p.

259 **Thornton, P.K., Jones, P.G., Alagarswamy, G., Andresen, J. and Herrero, M.** (2010). "Adapting to climate change: Agricultural system and household impacts in East Africa". *Agricultural Systems.* Vol. 103, pp. 73-82.

260 **Thornton, P.K., Jones, P.G., Ericksen, P.J. and Challinor, A.J.** (2011). "Agriculture and food systems in sub-Saharan Africa in a 4°C + world". *Phil. Trans. R. Soc. A.* Vol. 369, pp. 117-136.

261 **Tobler, M.W., Cochard, R. and Edwards, P.J.** (2003). "The Impact of Cattle Ranching on Large-Scale Vegetation Patterns in a Coastal Savanna in Tanzania". *Journal of Applied Ecology.* Vol. 40, n°3, pp. 430-444.

262 **Torou, B.M.** (2012). *Organisation de l'espace et stratégies d'adaptation des systèmes d'élevage pastoraux des régions semi-arides à la variabilité des ressources en eau*, Université de Ouagadougou, 72 p.

263 **Tschakert, P.** (2007a). "Environmental services and poverty reduction: Options for smallholders in the Sahel". *Agricultural Systems.* Vol. 94, n° 1, pp. 75-86.

264 **Tschakert, P.** (2007b). "Views from the vulnerable: Understanding climatic and other stressors in the Sahel". *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions.* Vol. 17, pp. 381-396.

265 **Turner, M.D.** (1999). "Spatial and temporal scaling of grazing impact on the species composition and productivity of Sahelian annual grasslands". *Journal of Arid Environments.* Vol. 41, pp. 277–297.

266 **Valentin, C.** (1994). "Sécheresse et érosion au Sahel". *Sécheresse.* Vol. **5**, pp. 191-198.

267 **Valentin, C., Rajot, J.L. and Mitja, D.** (2004). "Responses of soil crusting, runoff and erosion to fallowing in the sub-humid and semi-arid regions of West Africa". *Agriculture, Ecosystems & Environment.* Vol. 104, n° 2, pp. 287-302.

268 **Van Asten, P.J.A., Barro, S.E., Wopereis, M.C.S. and Defoer, T.** (2004). "Using farmer knowledge to combat low productive spots in rice fields of a Sahelian irrigation scheme". *Land Degradation & Development.* Vol. 15, n° 4, pp. 383-396.

269 **Vandenbeldt, R.J. and Williams, J.H.** (1992). "The effect of soil surface temperature on the growth of millet in relation to the effect of Faidherbia albida trees". *Agricultural and Forest Meteorology.* Vol. 60, n° 1-2, pp. 93-100.

270 **Vanderpost, C., Ringrose, S., Matheson, W. and Arntzen, J.** (2011). "Satellite based long-term assessment of rangeland condition in semi-arid areas : An example from Botswana". *Journal of Arid Environments.* Vol. 75, pp. 383-389.

271 **Verhagen, A.** (2001). "L'impact du changement climatique sur les zones arides". *Haramata*, n° **39,** pp. 1-3.

272 **Visser, S.M., Leenders, J.K. and Leeuwis, M.** (2003). "Farmers' perceptions of erosion by wind and water in northern Burkina Faso". *Land Degradation & Development.* Vol. 14, n° 1, pp. 123-132.

273 **Visser, S.M. and Sterk, G.** (2007). "Nutrient dynamics—wind and water erosion at the village scale in the Sahel". *Land Degrad. Develop.* Vol. 18, pp. 578–588.

274 **Visser, S.M., Sterk, G. and Snepvangers, J.J.J.C.** (2004). "Spatial variation in wind-blown sediment transport in geomorphic units in northern Burkina Faso using geostatistical mapping". *Geoderma.* Vol. 120, n° 1-2, pp. 95-107.

275 **Visser, S.M., Stroosnijder, L. and Chardon, W.J.** (2005). "Nutrient losses by wind and water, measurements and modelling". *CATENA.* Vol. 63, n° 1,pp. 1-22.

276 **Warren, A.** (2002). "Land degradation is contextual". *Land Degrad. Develop.* Vol. 13, pp. 449–459.

277 **Warren, A., Osbahr, H., Batterbury, S. and Chappell, A.** (2003). "Indigenous views of soil erosion at Fandou Béri, southwestern Niger". *Geoderma.* Vol. 111, n° 3-4, pp. 439-456.

278 **West, C.T., Roncoli, C. and Ouattara, F.** (2008). "Local perceptions and regional climate trends on the Central Plateau of Burkina Faso". *Land Degradation & Development.* Vol. 19, n° 3, pp. 289-304.

279 **Wezel, A. and Haigis, J.** (2000). "Farmers' perception of vegetation changes in semi-arid Niger". *Land Degradation & Development.* Vol. 11, n° 6, pp. 523-534.

280 **Wezel, A. and Lykke, A.M.** (2006). "Woody vegetation change in Sahelian West Africa: evidence from local knowledge". *Environ Dev Sustain* . Vol. 8, pp. 553-567.

281 **Winslow, M., Shapiro, B.I., Thomas, R. and Shetty, S.V.R.** (2004). *Desertification, drought, poverty and agriculture: research lessons and opportunities.,* 52 p.

282 **Wittig, R., König, K., Schmidt, M. and Szarzynski, J.** (2007). "A Study of Climate Change and Anthropogenic Impacts in West Africa". *Env Sci Pollut Res.* Vol. 14, n° 3, pp. 182–189.

283 **Woomer, P.L., Tieszen, L.L., Tappan, G., Touré, A. and Sall, M.** (2004). "Land use change and terrestrial carbon stocks in Senegal". *Journal of Arid Environments.* Vol. 59, pp. 625–642.

284 **Ziervogel, G., Bharwani, S. and Downing, T.E.** (2006). "Adapting to climate variability: Pumpkins, people and policy". *Natural Resources Forum.* Vol. 30, pp. 294–305.

285 **Ziervogel, G., Cartwright, A., Tas, A., James Adejuwon, Zermoglio, F., Shale, M. and Smith, B.** (2008). *Climate change and adaptation in African agriculture.* , Rockefeller Foundation, Stockholm Environment Institute, 54 p.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Caractéristiques géomorphologique et morpho-pédologique de la zone d'étude

Annexe 1a : Esquisse géomorphologique de Dampela

Annexe 1b : Esquisse géomorphologique de Gandefabou Kelwélé

Annexe 1c : Caractéristiques morpho-pédologiques de Dampela

Annexe 1d : Caractéristiques morpho-pédologiques de Kékénéné

Annexe 1e : Caractéristiques morpho-pédologiques de Gandéfabou Kelwélé

ANNEXE 2 : Evolution des paramètres climatiques

Annexe 2a : Courbes de Franquin et Cochème de la station d'Aribinda

Annexe 2b : Courbes de Franquin et Cochème de la station de Gorom-Gorom

ANNEXE 3 : Matrice de confusion et erreurs d'omission et de commission et perception de la dynamique de ressources naturelles

Annexe 3a : Matrice de confusion et erreurs d'omission et de commission issues de test de précision de la classification des images de 1990 de Kékénéné

Annexe 3b : Matrice de confusion et erreurs d'omission et de commission issues de test de précision de la classification des images de 2010 de Kékénéné

Annexe 3c : Matrice de confusion et erreurs d'omission et de commission issues de test de précision de la classification des images de 1990 de Dampela

Annexe 3d : Matrice de confusion et erreurs d'omission et de commission issues de test de précision de la classification des images de 2010 de Dampela

Annexe 3e : Matrice de confusion et erreurs d'omission et de commission issues de test de précision de la classification des images de 1990 de Gandéfabou Kelwélé

Annexe 3f : Matrice de confusion et erreurs d'omission et de commission issues de test de précision de la classification des images de 2010 de Gandéfabou Kelwélé

Annexe 3g : Etat d'occupation des terres dans les trois villages en 1990 et en 2010

Annexe 3h : Dynamique du peuplement ligneux selon les populations locales

ANNEXE 4 : Liste des publications et communications

Annexe 4a : Publications

Annexe 4b : Communications

ANNEXE 5 : Guide d'entretien et de focus groups

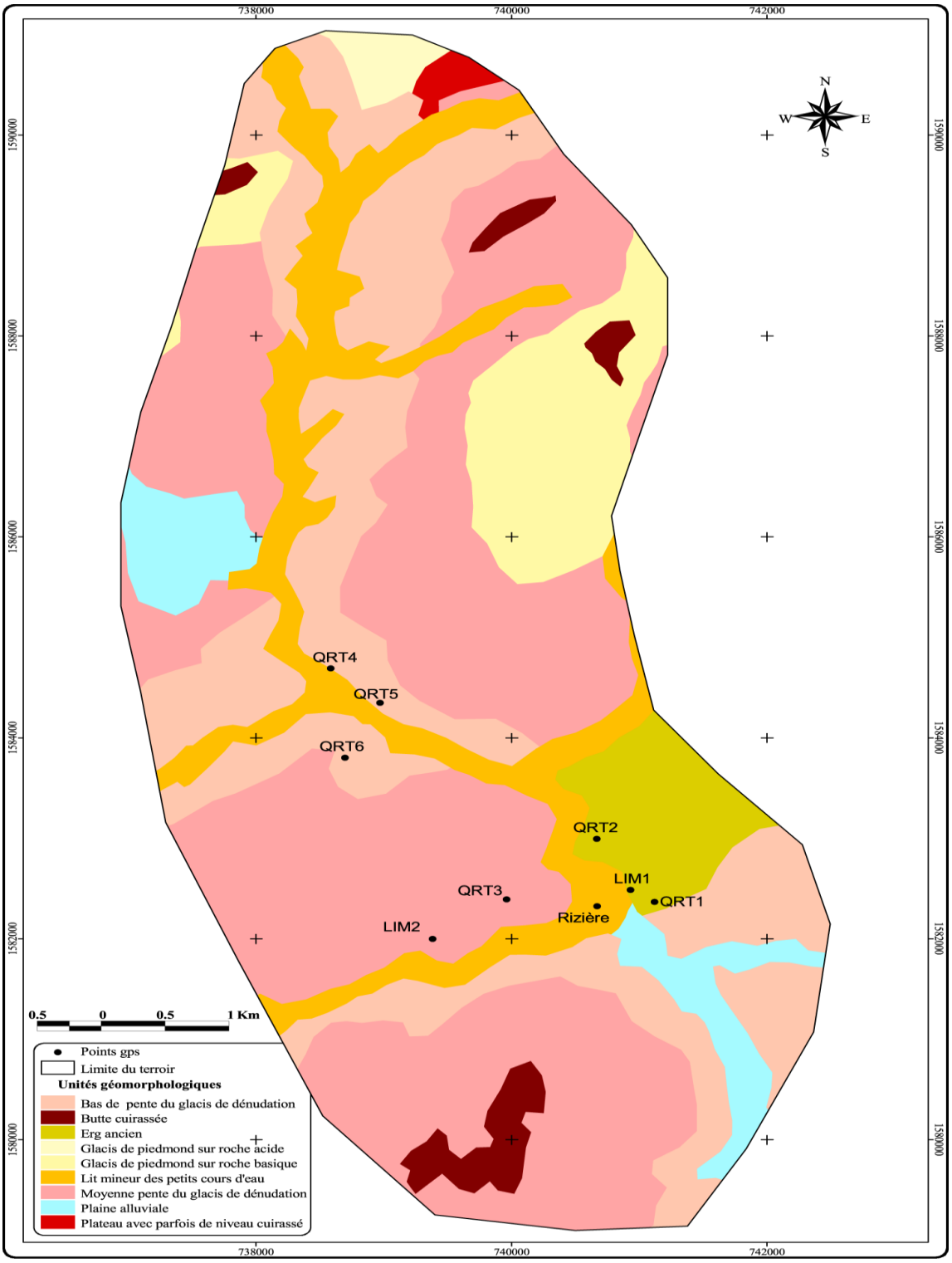
Annexe 5a : Guide d'entretien avec les conseillers villageois de développement

Annexe 5b : Guide focus groups

ANNEXE 6 : Questionnaire d'enquête ménage

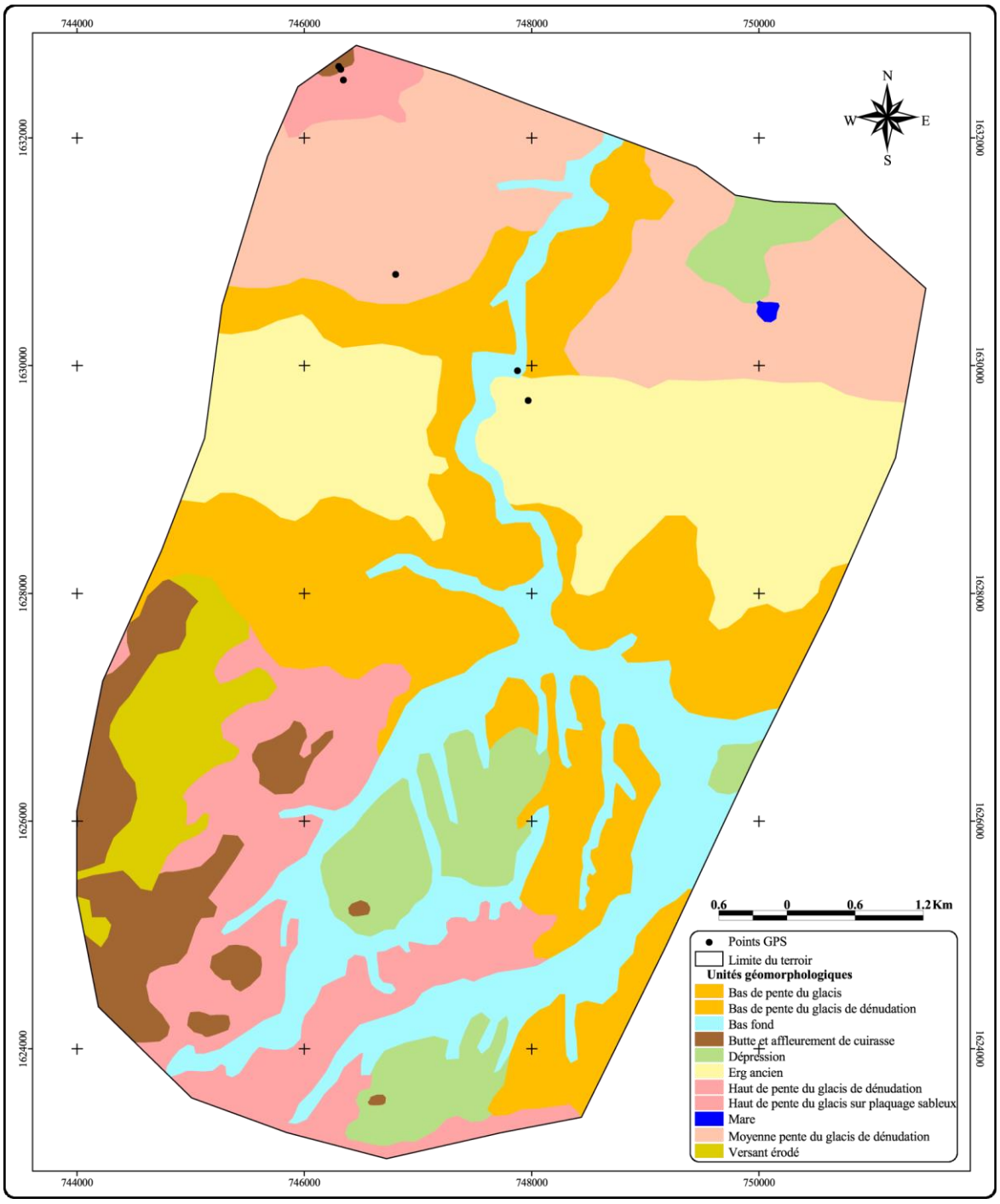
ANNEXE 1 : Caractéristiques géomorphologique et morpho-pédologique de la zone d'étude

Annexe 1a : Esquisse géomorphologique de Dampela



Source : BUNASOLS, données terrain, 2011. Ouoba P. A

Annexe 1b : Esquisse géomorphologique de Gandéfabou Kelwélé



Source : BUNASOLS, données terrain, 2011. Ouoba P. A

Annexe 1c : Caractéristiques morpho-pédologiques de Dampela

Unité topographique et géomorphologie	**Sol dominant**	**Fertilité**	**Aptitude agronomique**	**Type de culture**
Butte cuirassée	Lithosols sur cuirasse	Nulle	Inaptitude permanente	Culture vivrière
Plateau avec niveau cuirassé	Sol ferrugineux tropical peu lessivé induré profond	Nulle	Inaptitude permanente	Culture vivrière
Glacis de dénudation à pente moyenne	Sol brun subaride	Moyenne	Aptitude marginale	Mil et niébé
Glacis de dénudation à pente inférieure	Sol ferrugineux tropical peu lessivé à pseudogley	Moyenne	Aptitude marginale	Culture vivrière et fourragère
Glacis de piedmont sur roche acide	Sol peu évolué d'apport colluvial modal	Moyenne	Aptitude marginale	Culture vivrière
Glacis de piedmont sur roche basique	Sol peu évolué d'apport colluvial modal	Moyenne	Aptitude marginale	Culture vivrière
Erg ancien	Sol ferrugineux tropical peu lessivé modal	Moyenne	Aptitude marginale	Culture vivrière
Plaine alluviale	Sol hydromorphe à pseudogley de surface	Elevée	Aptitude marginale	Culture vivrière
Lit mineur des petits cours d'eau				

Source : BUNASOLS, terrain 2010

Annexe 1d : Caractéristiques morpho-pédologiques de Kékénéné

Unité topographique et géomorphologie	**Sol dominant**	**Fertilité**	**Aptitude agronomique**	**Type de cultures**
Butte cuirassée	Lithosols sur cuirasse ou sur roches diverses	Nulle	Inaptitude permanente	Culture vivrière
Butte rocheuse				
Plateau avec niveau cuirassé	Sol ferrugineux tropical peu lessivé induré profond	Nulle	Inaptitude permanente	Culture vivrière et fourragère
Glacis de dénudation à pente moyenne	Sol ferrugineux tropical peu lessivé induré profond	Faible	Aptitude marginale	Mil et niébé
Glacis de piedmont sur roche acide	Sol peu évolué d'apport colluvial modal	Moyenne	Aptitude marginale	Culture vivrière
Glacis de piedmont sur roche basique	Sol brun subaride	Moyenne	Aptitude marginale	Maïs, sorgho, mil, niébé
Plaine alluviale	Sol hydromorphe à pseudogley de surface	Elevée	Aptitude élevée	Sorgho maïs, sorgho fourrager
Lit mineur des petits cours d'eau				

Source : BUNASOLS, terrain 2010

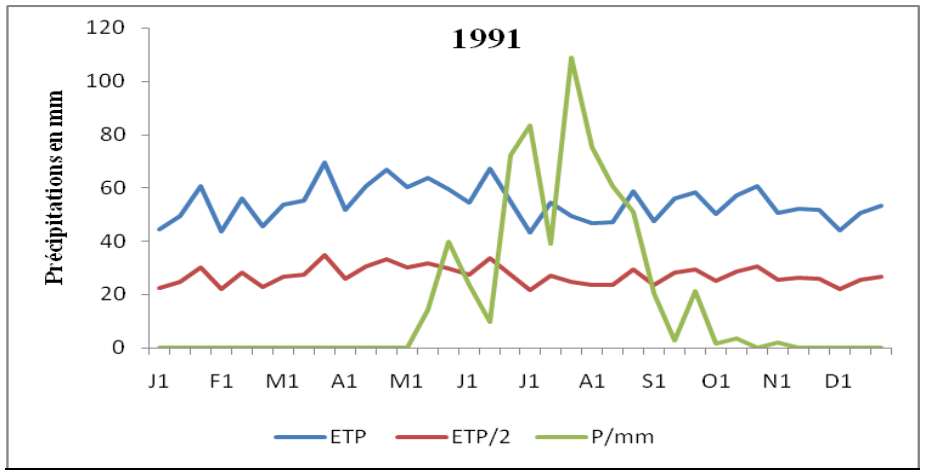
Annexe 1e : Caractéristiques morpho-pédologiques de Gandéfabou Kelwélé

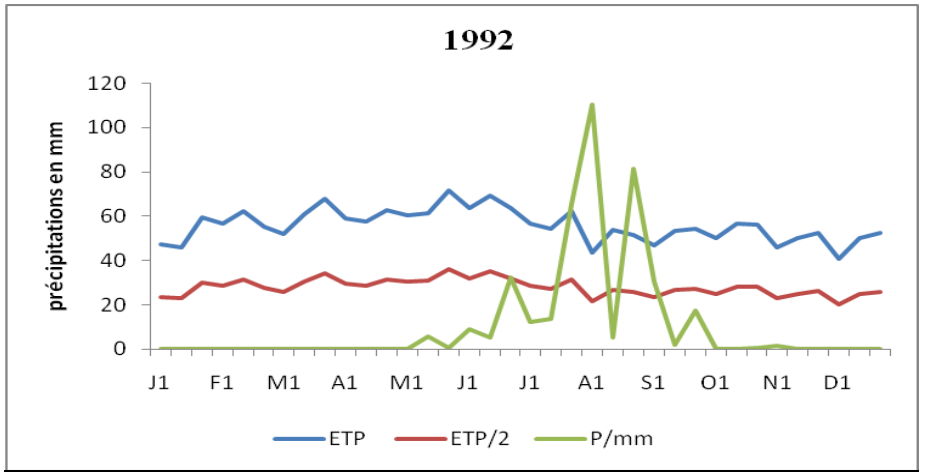
Unité topographique et géomorphologie	**Sol dominant**	**Fertilité**	**Aptitude agronomique**	**Type de culture**
Butte et affleurement cuirassés	Lithosols sur cuirasse	Nulle	Inaptitude permanente	Culture vivrière
Glacis de dénudation à pente supérieure	Sol ferrugineux tropical peu lessivé induré profond	Faible	Aptitude marginale	Culture vivrière
Glacis à pente supérieure avec placages sableux	Sol ferrugineux tropical peu lessivé modal	Moyenne	Aptitude marginale	Mil et niébé
Glacis de dénudation à pente moyenne	Sol ferrugineux tropical peu lessivé induré profond	Faible	Aptitude marginale	Mil, niébé
Glacis de dénudation à pente inférieure	Sol ferrugineux tropical peu lessivé à pseudogley	Moyenne	Aptitude marginale	Culture vivrière
Erg ancien	Sol ferrugineux tropical peu lessivé modal	Moyenne	Aptitude marginale	Culture vivrière
Dépression				
Bas-fonds	Sol brun subaride vertique	Elevée	Aptitude élevée	Sorgho fourrager, maïs, sorgho

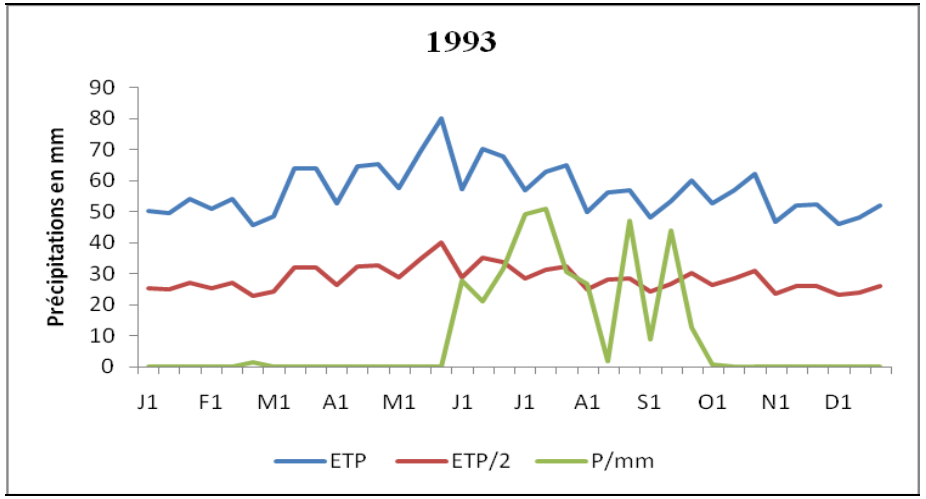
Source : BUNASOLS, terrain 2010

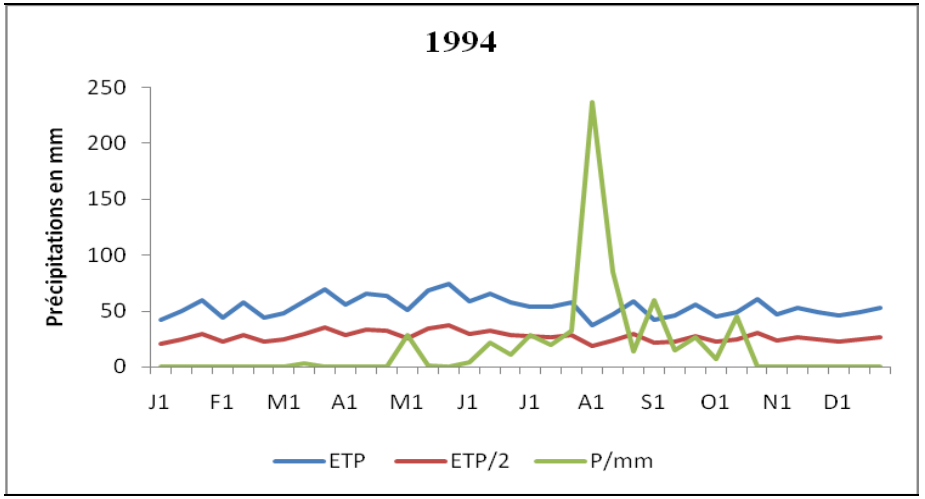
ANNEXE 2 : Evolution des paramètres climatiques

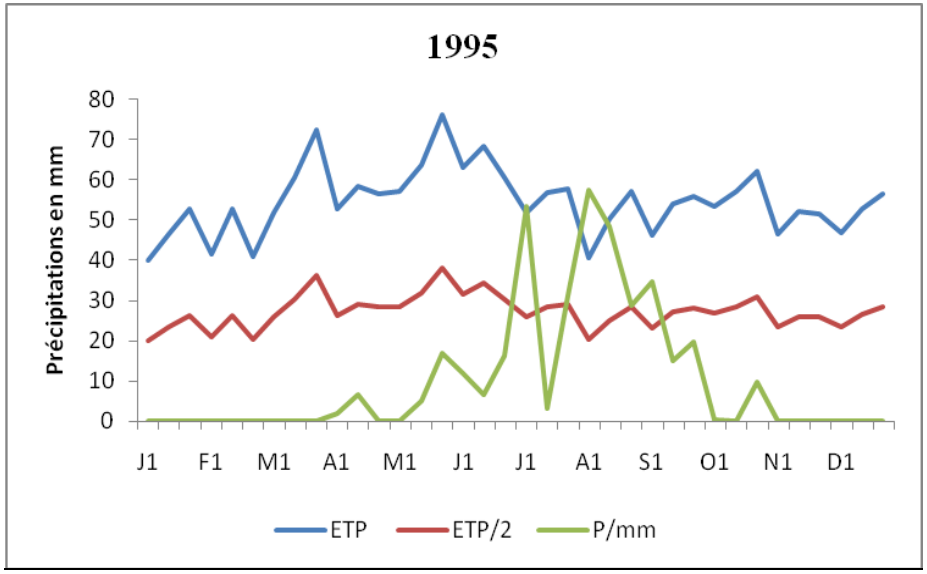
Annexe 2a : Courbes de Franquin et Cochème de la station d'Aribinda (Ouoba, 2012)

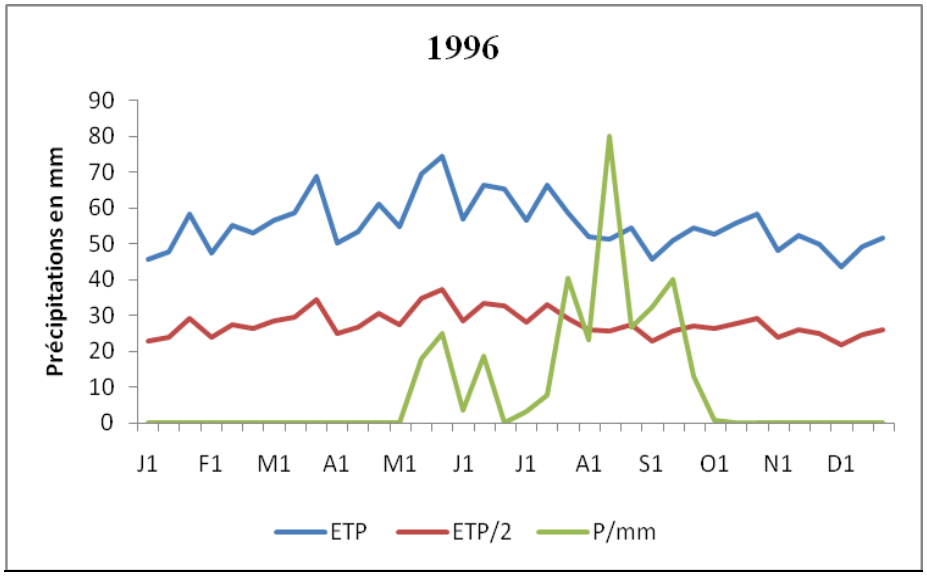


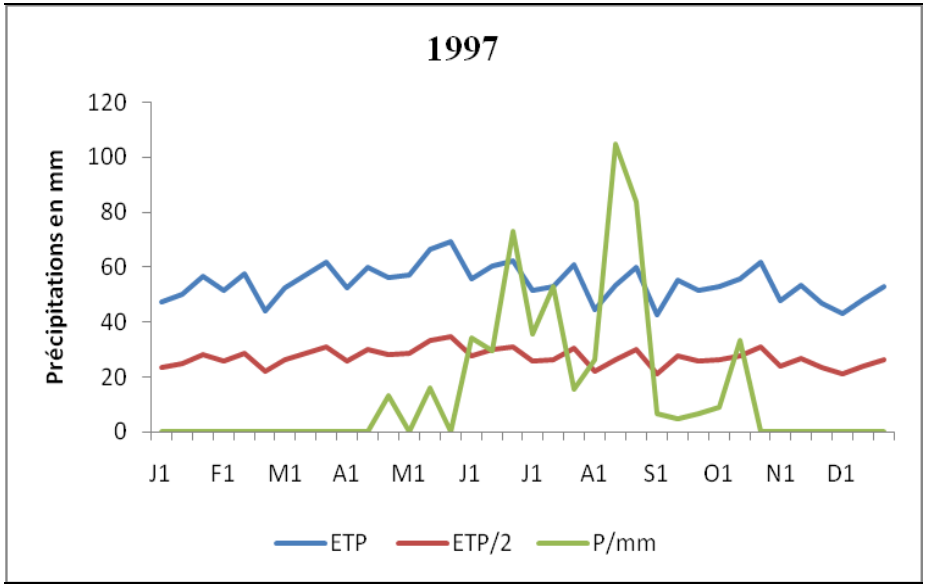


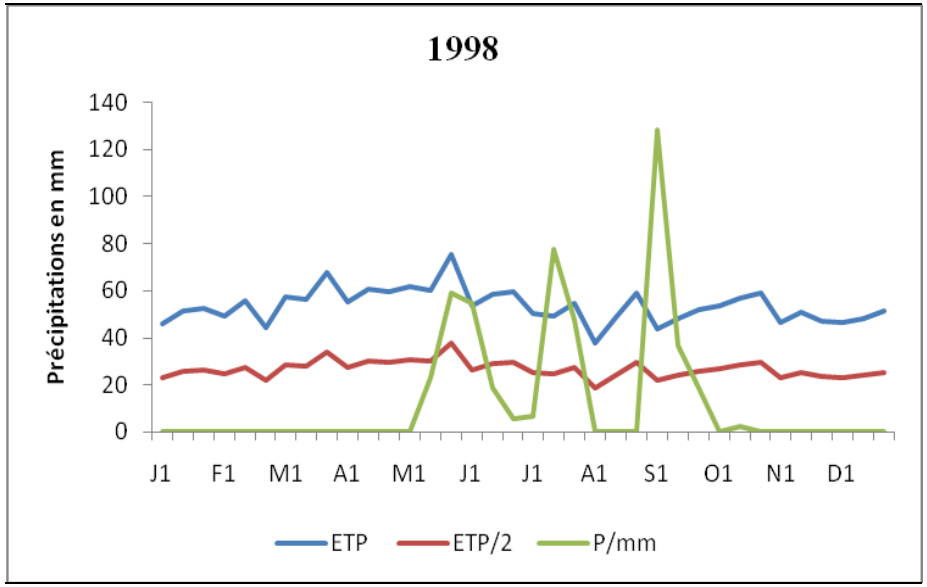


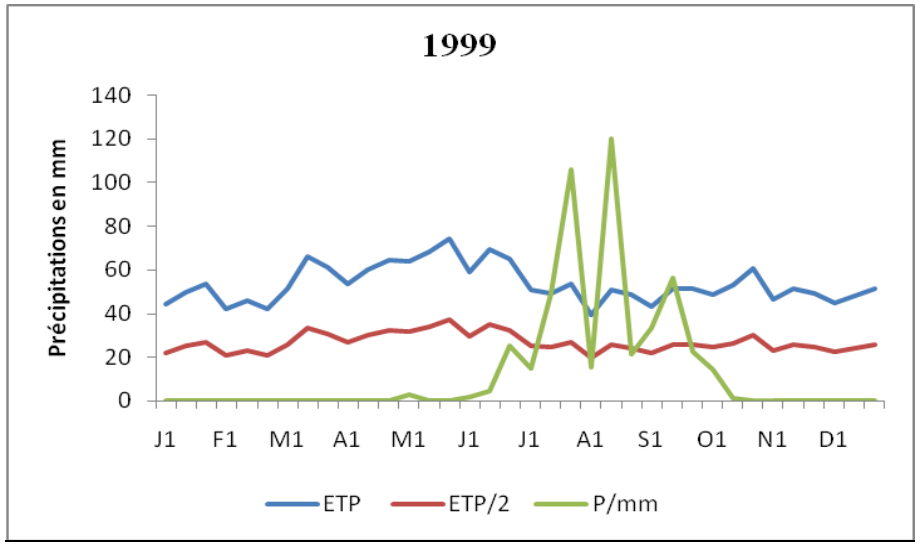


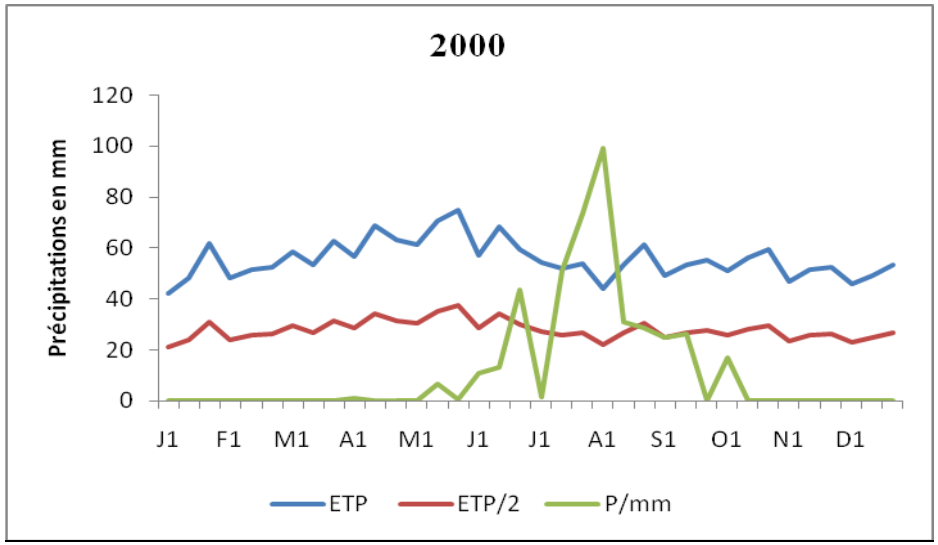

1995
Précipitations en mm
80
70
60
50
40
30
20
10
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

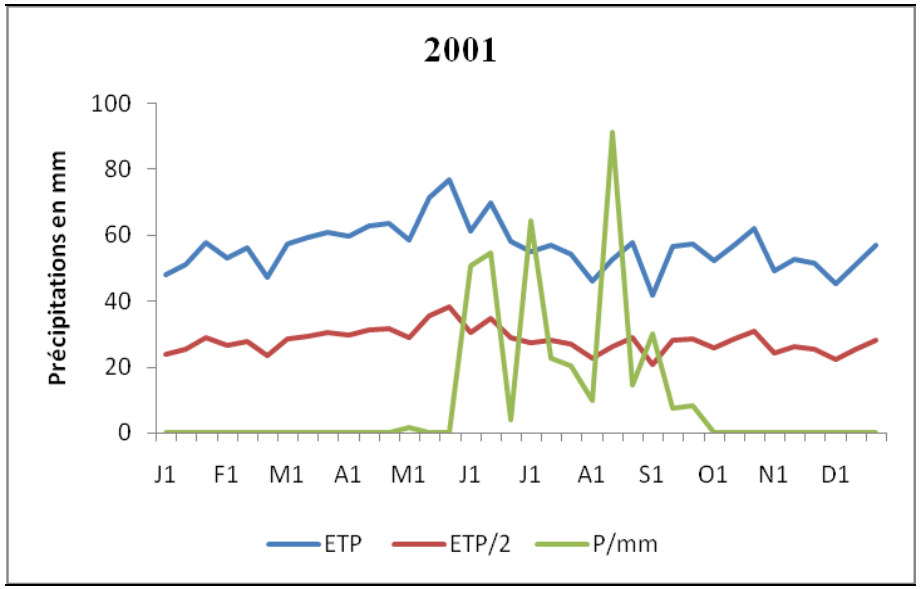

1996
Précipitations en mm
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

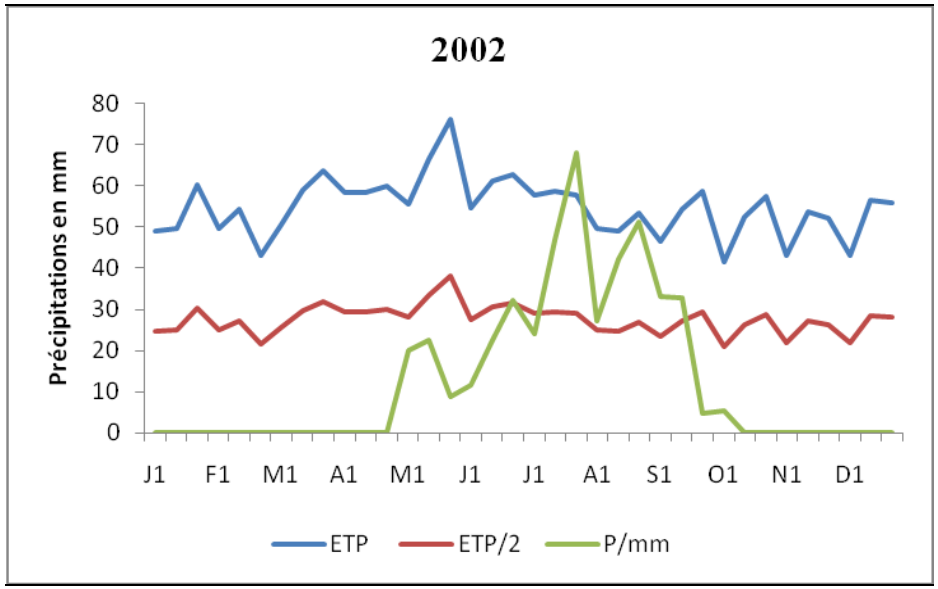

1997
Précipitations en mm
120
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

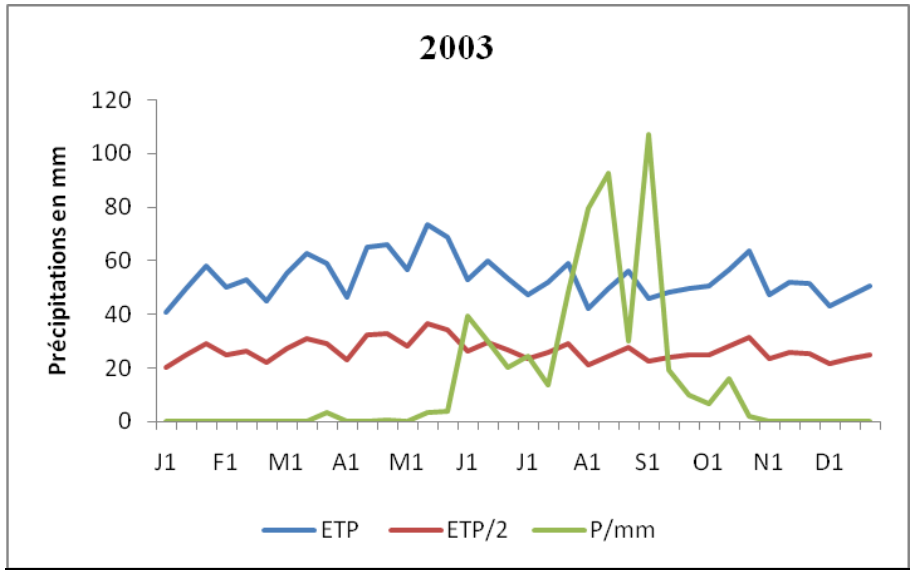

1998
Précipitations en mm
140
120
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

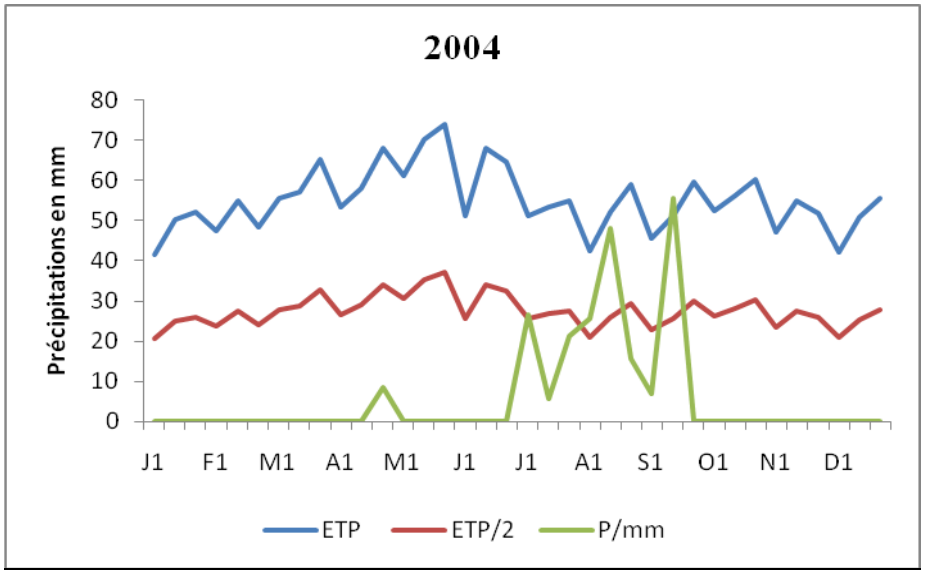

1999
Précipitations en mm
140
120
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

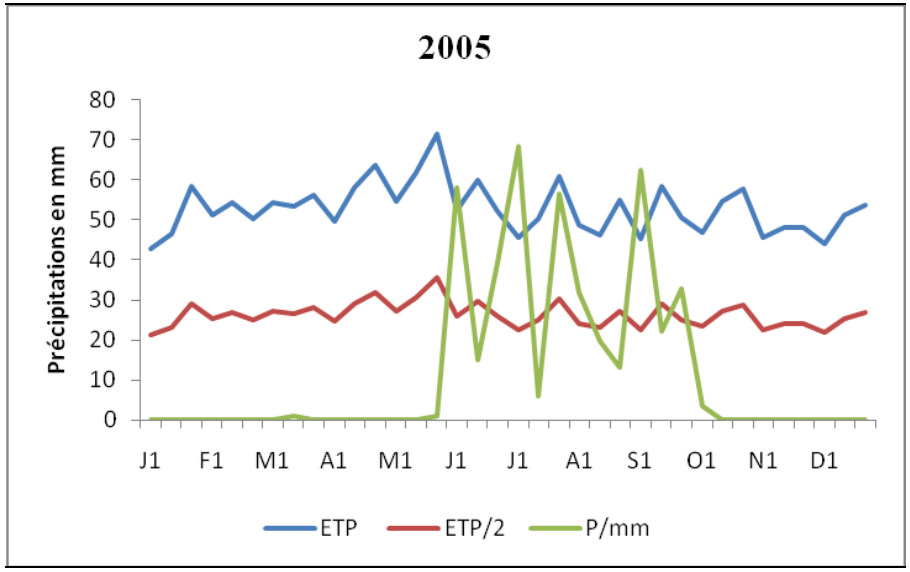

2000
Précipitations en mm
120
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

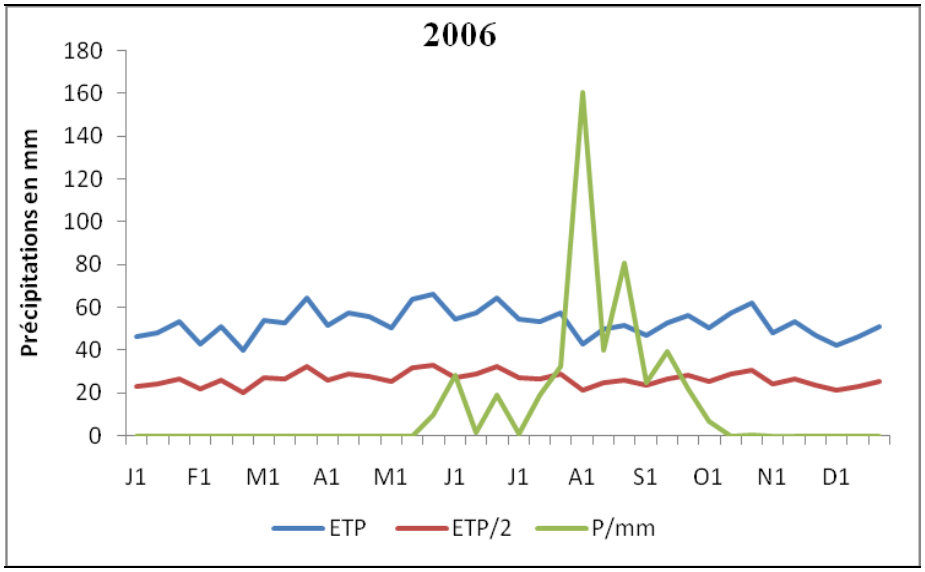

2001
Précipitations en mm
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

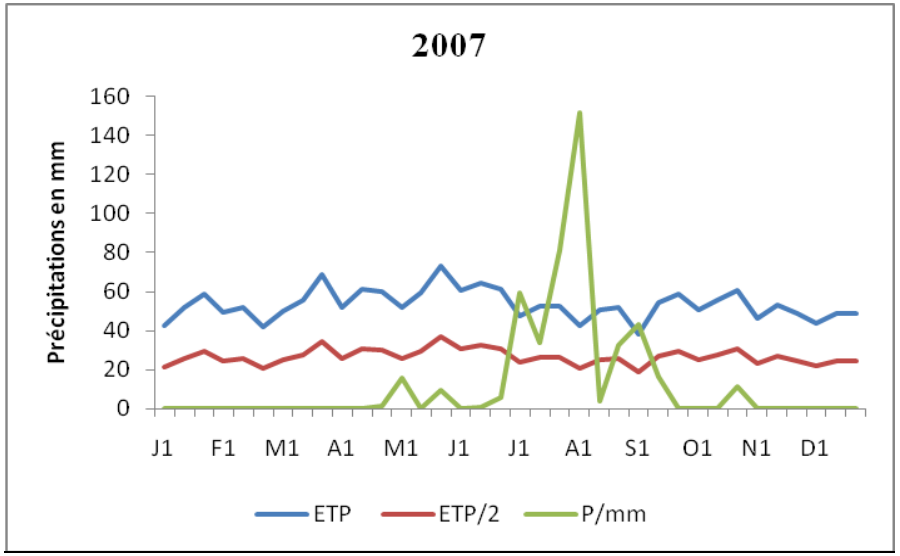

2002
Précipitations en mm
80
70
60
50
40
30
20
10
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

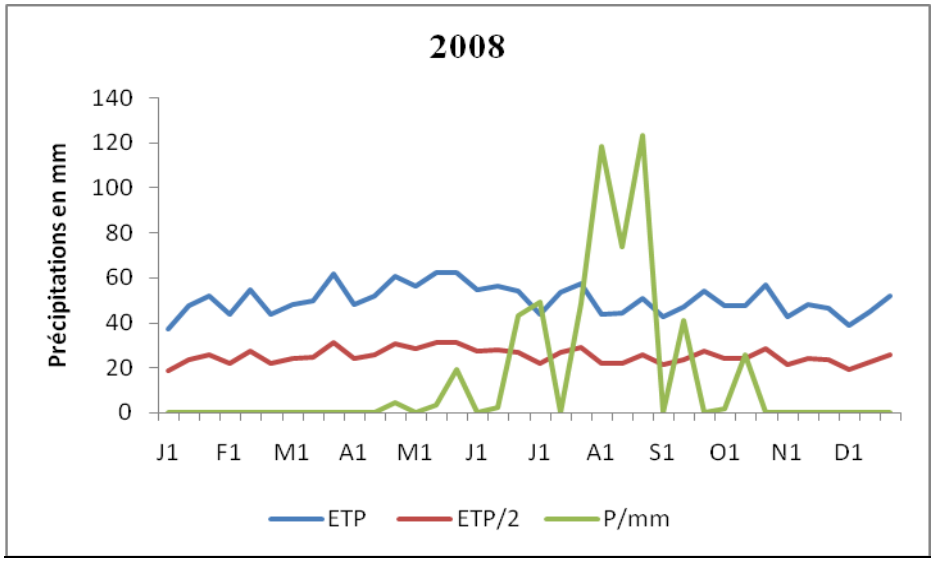

2003
Précipitations en mm
120
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

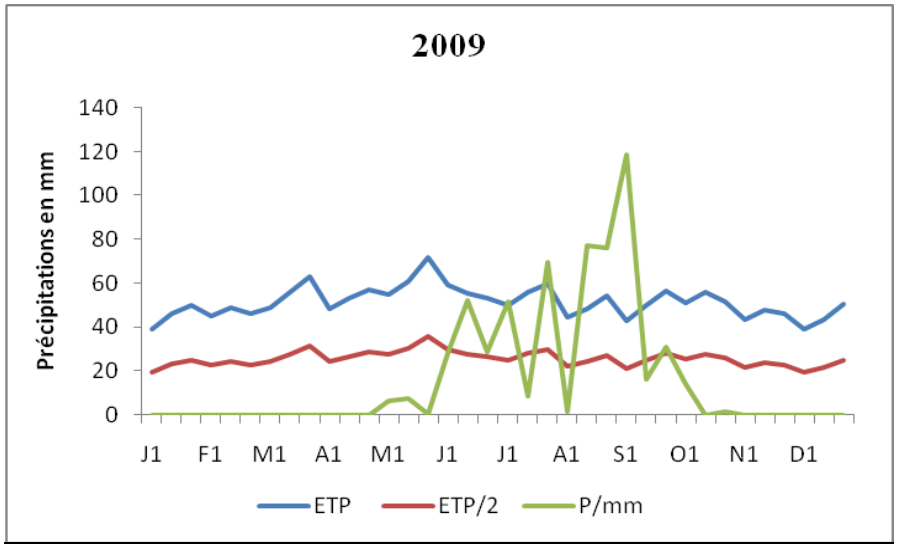

2004
Précipitations en mm
80
70
60
50
40
30
20
10
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

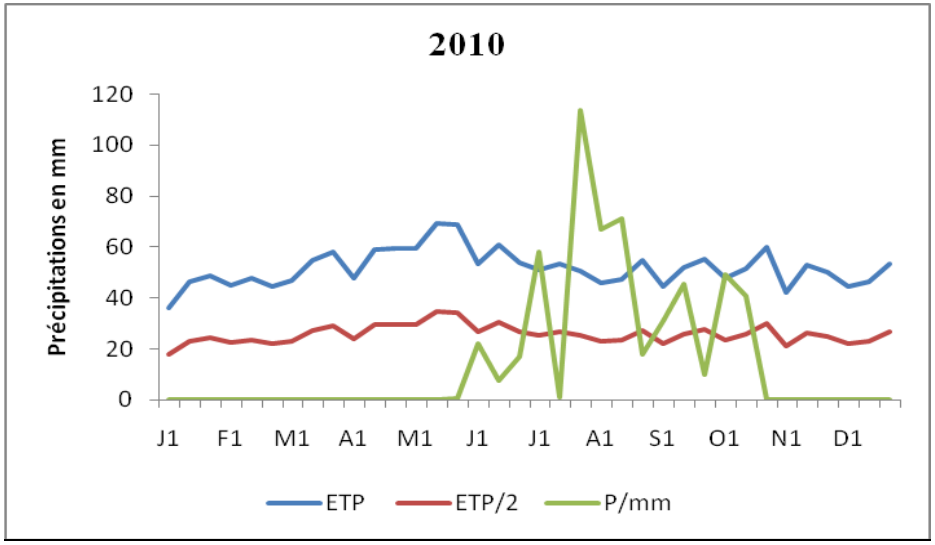

2005
Précipitations en mm
80
70
60
50
40
30
20
10
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm


2006
Précipitations en mm
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

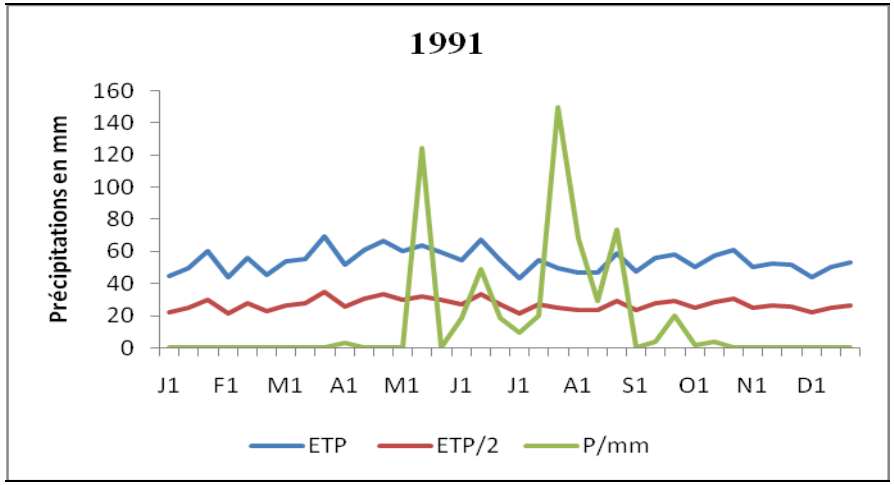

2007
Précipitations en mm
160
140
120
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

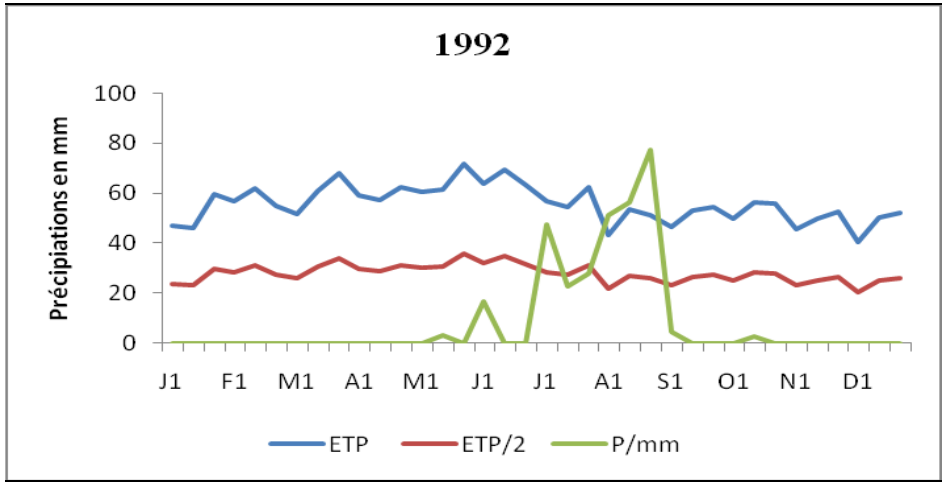

2008
Précipitations en mm
140
120
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

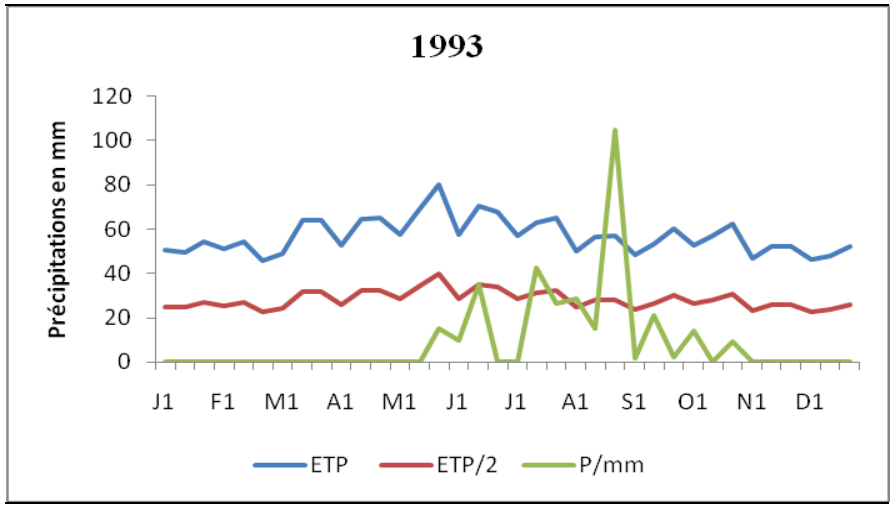

2009
Précipitations en mm
140
120
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

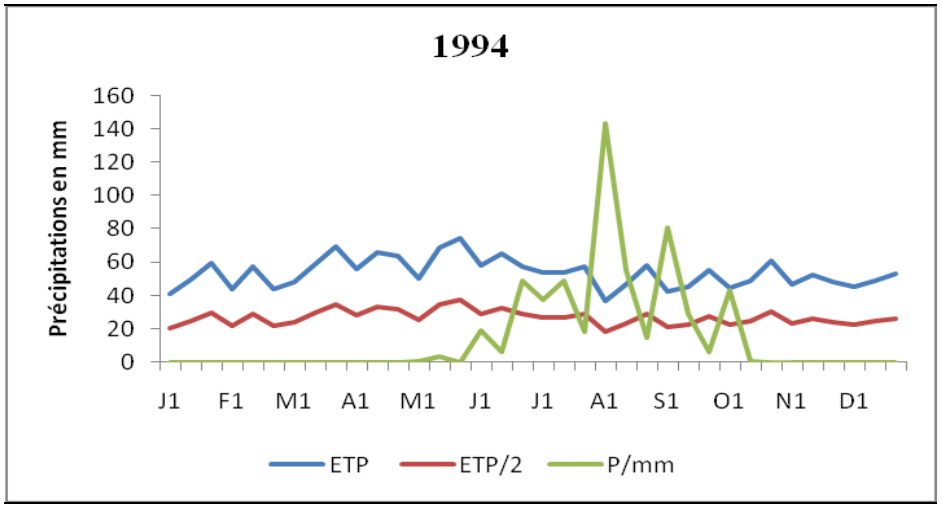

2010
Précipitations en mm
120
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

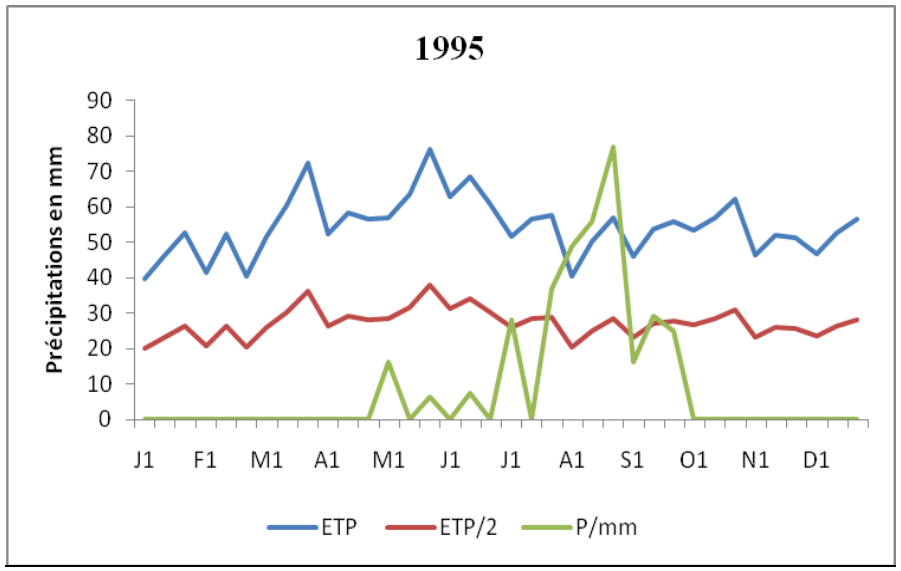
Annexe 2b : Courbes de Franquin et Cochème de la station de Gorom-Gorom (Ouoba, 2012)

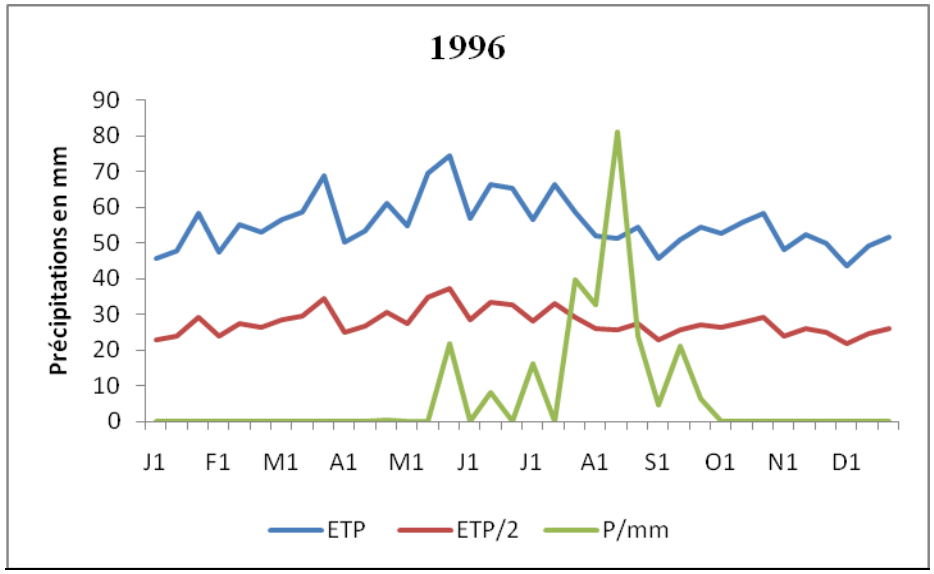


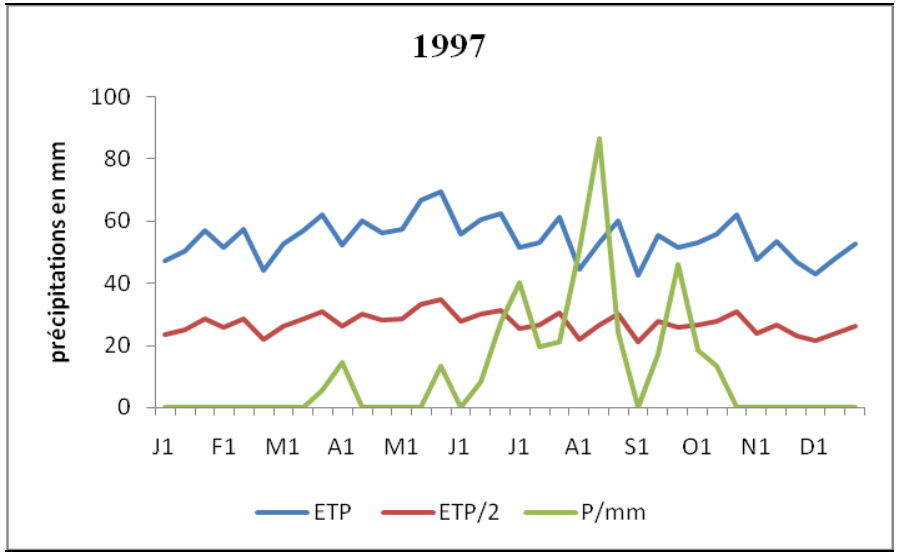


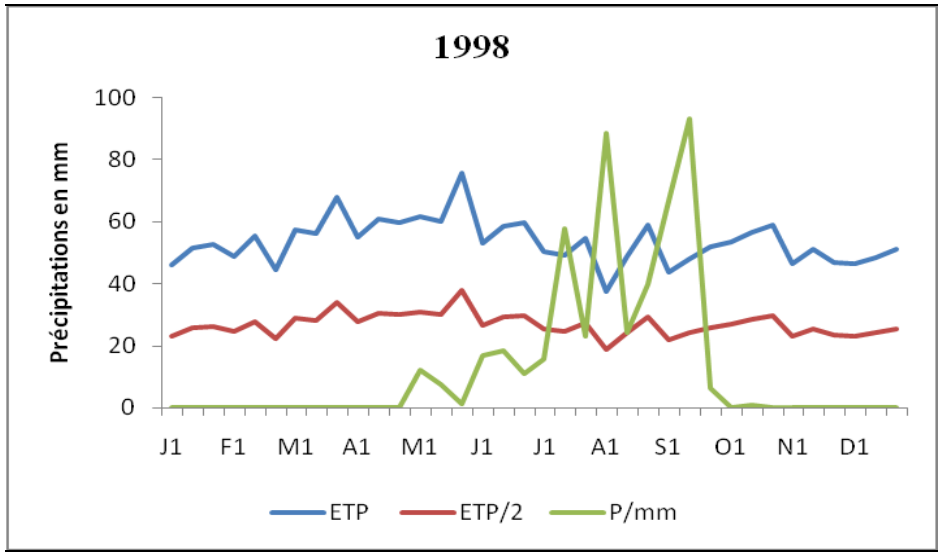


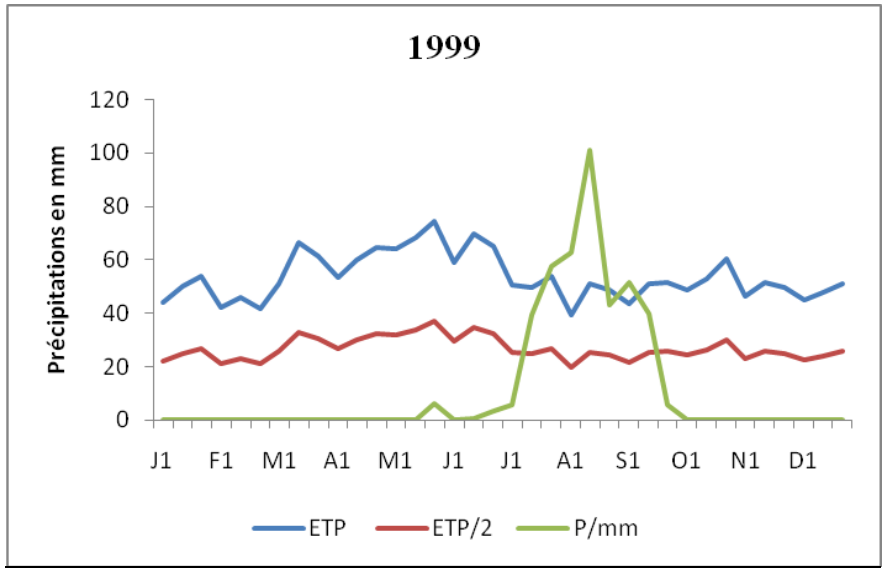


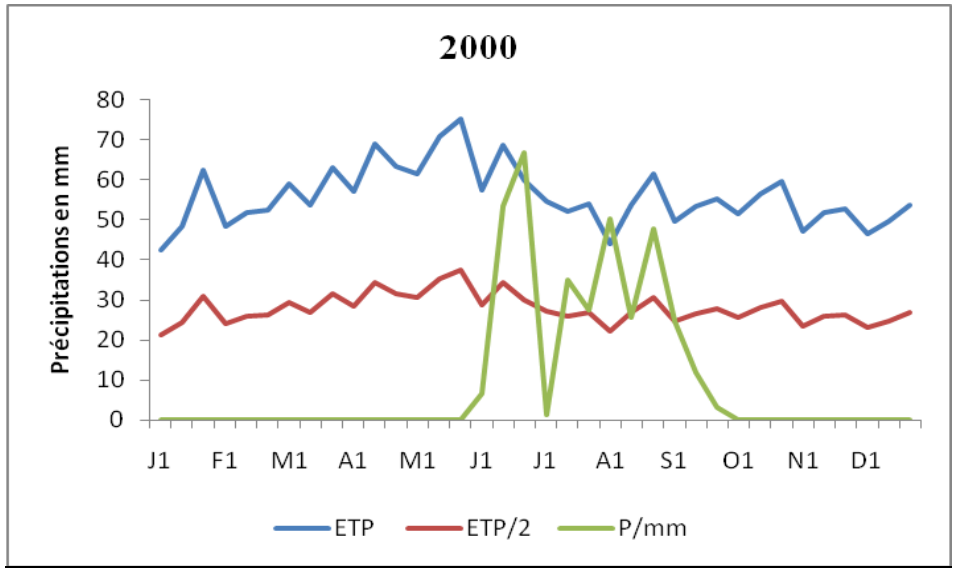

1995
Précipitations en mm
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

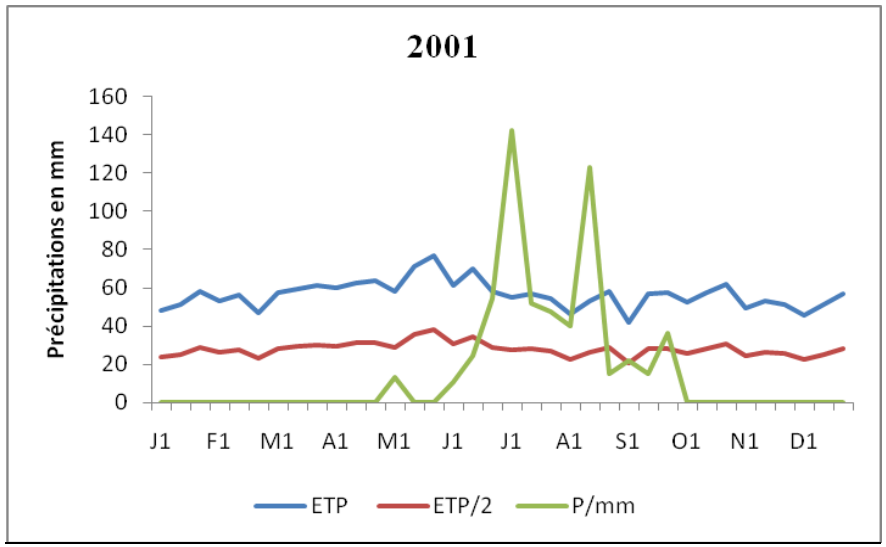

1996
Précipitations en mm
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

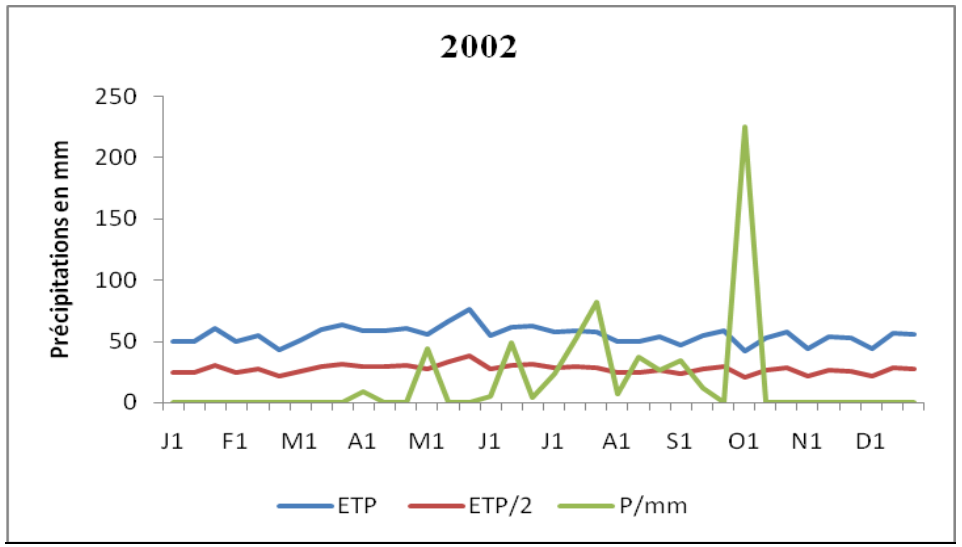

1997
précipitations en mm
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

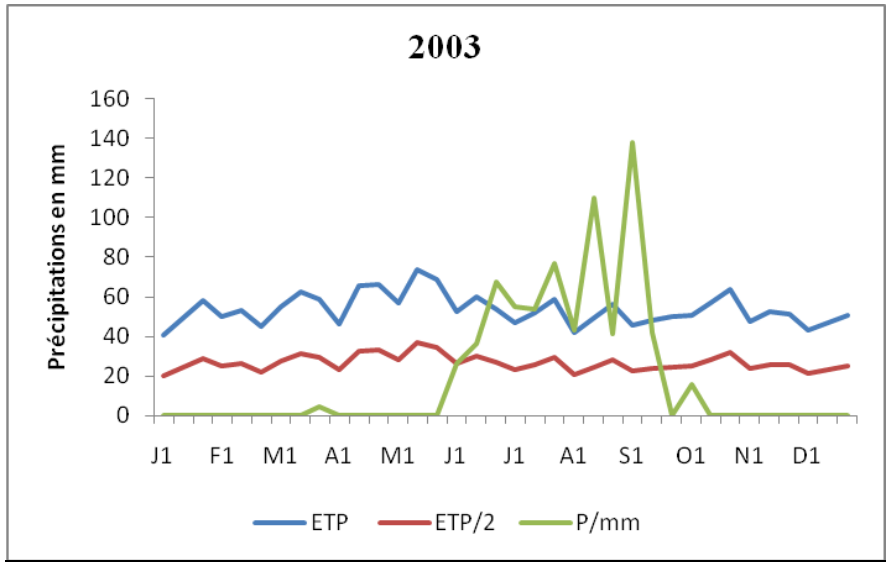

1998
Précipitations en mm
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

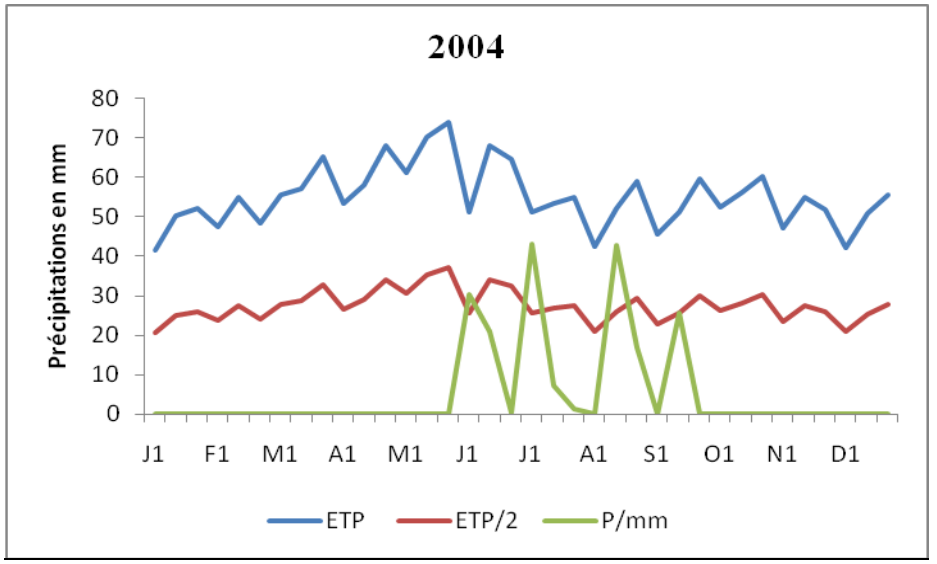

1999
Précipitations en mm
120
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

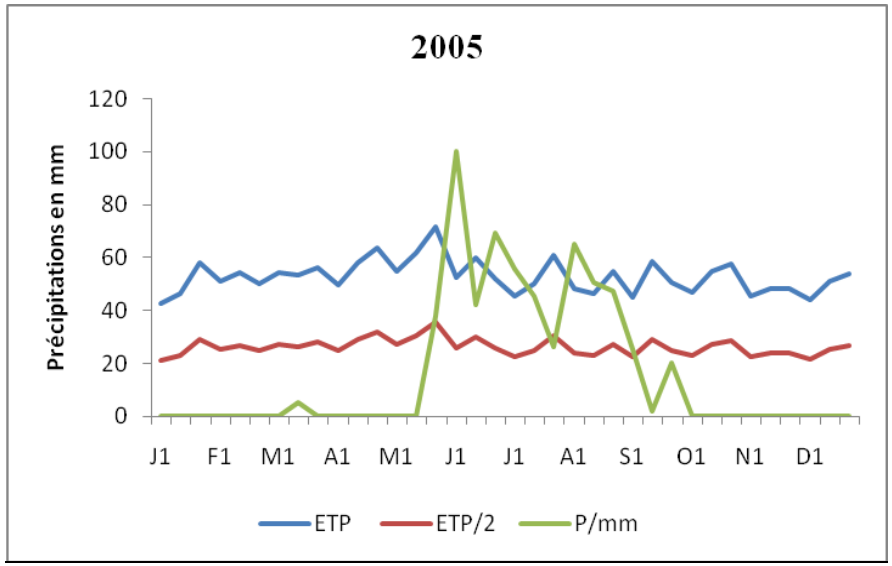

2000
Précipitations en mm
80
70
60
50
40
30
20
10
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

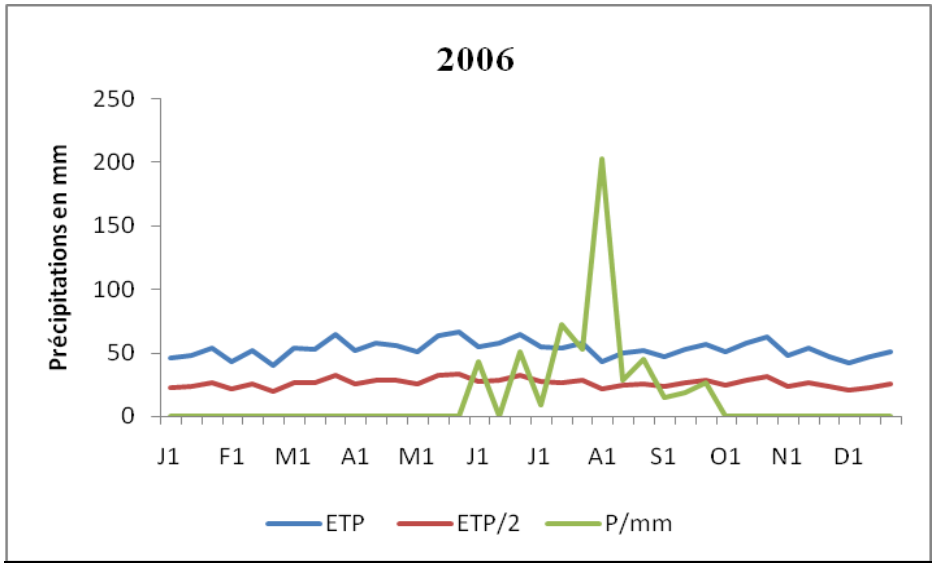

2001
Précipitations en mm
160
140
120
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

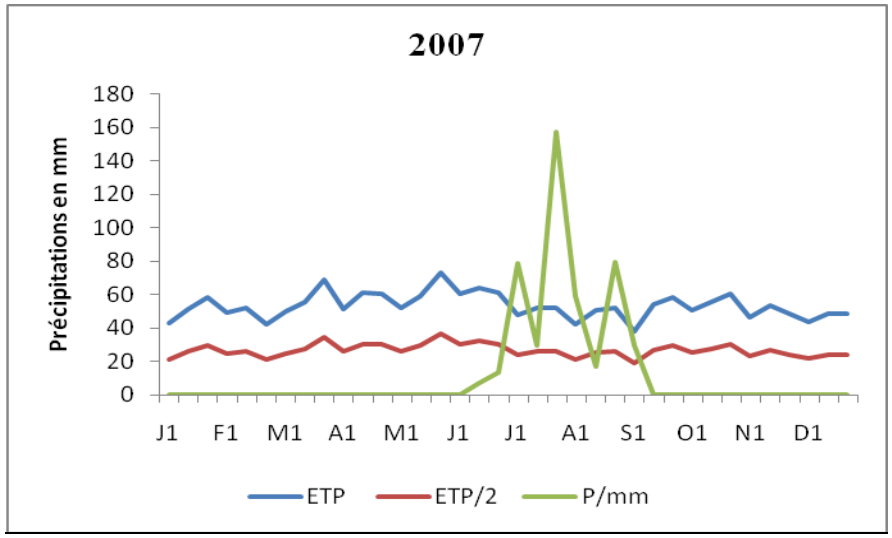

2002
Précipitations en mm
250
200
150
100
50
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

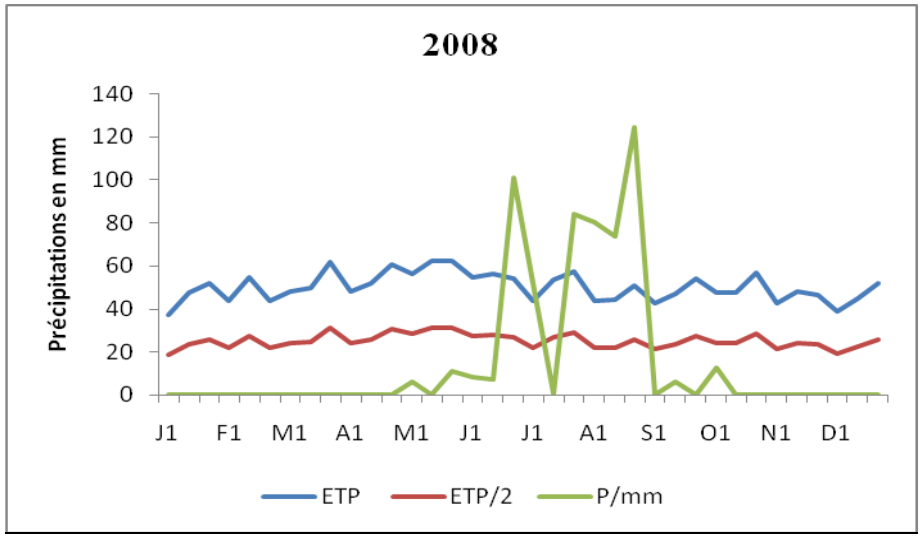

2003
Précipitations en mm
160
140
120
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

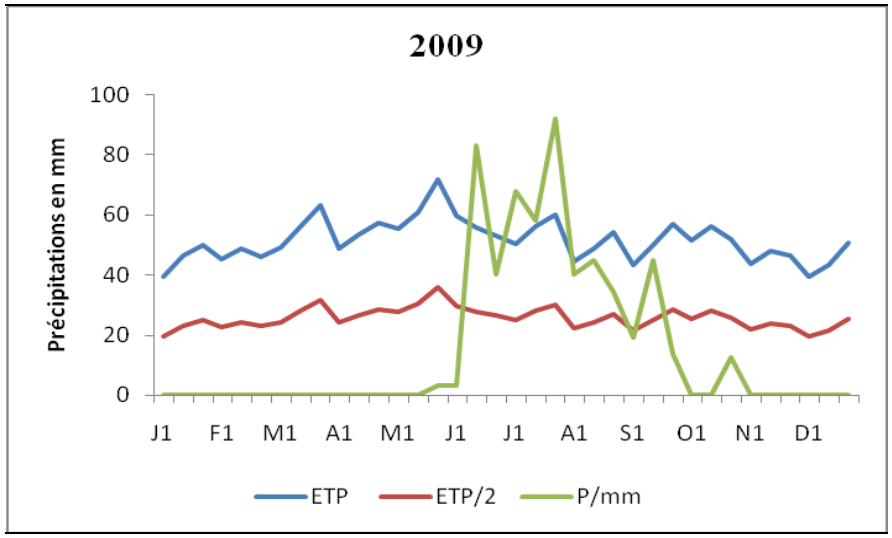

2004
Précipitations en mm
80
70
60
50
40
30
20
10
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

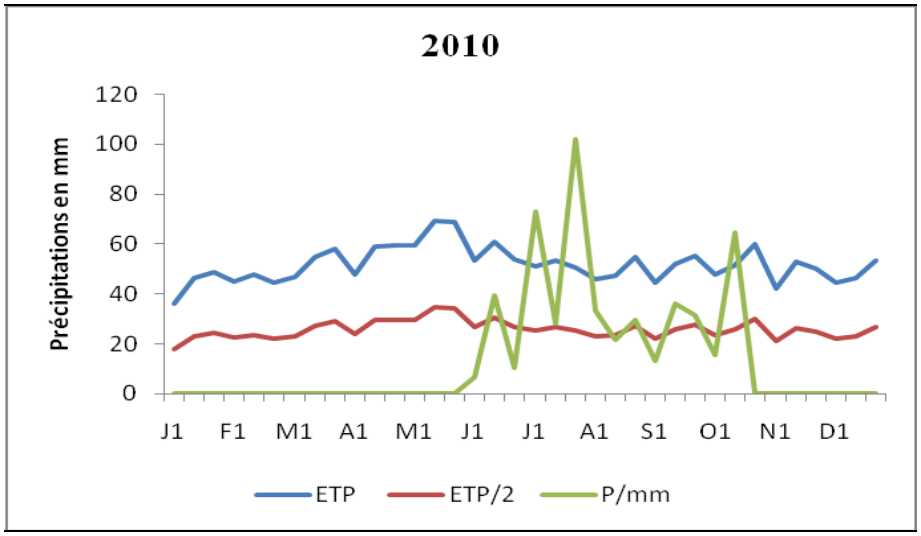

2005
Précipitations en mm
120
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm


2006
Précipitations en mm
250
200
150
100
50
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm


2007
Précipitations en mm
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm


2008
Précipitations en mm
140
120
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm


2009
Précipitations en mm
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm


2010
Précipitations en mm
120
100
80
60
40
20
0
J1 F1 M1 A1 M1 J1 J1 A1 S1 O1 N1 D1
ETP
ETP/2
P/mm

ANNEXE 3 : Matrice de confusion et erreurs d'omission et de commission et perception de la dynamique des ressources naturelles

Annexe 3a : Matrice de confusion et erreurs d'omission et de commission issues de test de précision de la classification des images de 1990 de Kékénéné

		Données de référence					
	Classes thématiques	ZC	FR	S	ZE	FPS	**Omission (%)**
Image classifiée en 1990	ZC	65.83	0.00	0.00	0.43	0.00	34.17
	FR	7.72	83.08	2.86	0.00	0.00	16.92
	S	11.39	1.71	97.14	0.28	0.00	2.86
	ZE	0.58	0.00	0.00	80.65	0.24	19.35
	FPS	14.48	0.00	0.00	18.63	99.76	0.24
	ACR	0.00	15.20	0.00	0.00	0.00	0.00
	Commission (%)	0.87	11.01	20.23	0.70	32.91	

Source : Traitement images Landsat 1990 et 2010. FR : formation ripicole; S : steppe; FPS : formation végétale sur placage sableux; ZC : zone de culture ; ZE : zone érodée ; ACR : affleurement cuirassé et rocheux.

Annexe 3b : Matrice de confusion et erreurs d'omission et de commission issues de test de précision de la classification des images de 2010 de Kékénéné

		Donnée de référence					
	Classes thématiques	ZC	FR	S	ZE	FP	**Omission (%)**
Image classifiée en 2010	ZC	56.50	0.19	0.00	0.00	0.00	43.50
	FR	0.00	99.07	0.68	0.00	0.00	0.93
	S	12.56	0.74	99.32	0.00	0.00	0.68
	ZE	5.83	0.00	0.00	80.63	0.00	19.37
	FPS	25.11	0.00	0.00	19.37	100	0.00
	ACR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Commission (%)	0.79	0.37	9.94	3.09	36.67	

Source : Traitement images Landsat 1990 et 2010. FR : formation ripicole; S : steppe; FPS : formation végétale sur placage sableux; ZC : zone de culture ; ZE : zone érodée ; ACR : affleurement cuirassé et rocheux.

Annexe 3c : Matrice de confusion et erreurs d'omission et de commission issues de test de précision de la classification des images de 1990 de Dampela (en pourcentage)

		Données de référence					
	Classes thématiques	ACR	S	FR	ZC	FD	**Omission**
Image classifiée en 1990	ACR	99.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98
	S	0.98	92.52	4.93	0.00	1.16	7.48
	FR	0.00	7.48	93.27	0.00	0.00	6.73
	ZC	0.00	0.00	0.45	72.46	4.65	27.54
	FD	0.00	0.00	1.35	27.54	94.19	5.81
	ZE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10
	Commission	0.00	11.61	3.70	12.28	21.36	

Source : Traitement images Landsat 1990 et 2010. FR : formation ripicole; S : steppe; FD : formation dunaire; ZC : zone de culture ; ZE : zone érodée ; ACR : affleurement cuirassé et rocheux.

Annexe 3d : Matrice de confusion et erreurs d'omission et de commission issues de test de précision de la classification des images de 2010 de Dampela (en pourcentage)

		Données de référence					
	Classes thématiques	ACR	S	FR	ZC	FD	**Omission**
Image classifié en 2010	ACR	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S	0.00	100	0.76	0.00	0.00	0.00
	FR	0.00	0.00	99.24	0.00	0.00	0.76
	ZC	0.00	0.00	0.00	100	0.00	0.00
	FD	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0.00
	ZE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Commission	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00	

Source : Traitement images Landsat 1990 et 2010. FR : formation ripicole; S : steppe; FD : formation dunaire; ZC : zone de culture ; ZE : zone érodée ; ACR : affleurement cuirassé et rocheux.

Annexe 3e : Matrice de confusion et erreurs d'omission et de commission issues de test de précision de la classification des images de 1990 de Gandéfabou (en pourcentage)

		Données de référence					
	Classes thématiques	PE	ZC	FR	FD	ZE	**Omission**
Image classifiée en 1990	PE	37.45	0.00	0.51	0.32	0.00	62.55
	ZC	0.00	89.61	0.41	10.55	0.24	10.39
	FR	4.12	0.00	89.32	2.35	0.00	10.68
	FD	0.00	1.39	1.95	72.92	0.24	27.08
	ZE	0.00	8.11	0.21	2.86	99.53	0.47
	ACR	56.93	0.00	0.00	0.70	0.00	1.59
	S	1.50	0.89	7.60	10.30	0.00	6.94
	Commission (%)	9.09	19.57	5.95	5.36	11.66	

Source : Traitement images Landsat 1990 et 2010. PE : plan d'eau; FR : formation ripicole; S : steppe; FD : formation dunaire; ZC : zone de culture ; ZE : zone érodée ; ACR : affleurement cuirassé et rocheux.

Annexe 3f : Matrice de confusion et erreurs d'omission et de commission issues de test de précision de la classification des images de 2010 de Gandéfabou (en pourcentage)

		Données de référence					
	Classes thématiques	PE	ZC	FR	FD	ZE	**Omission**
Image classifiée en 2010	PE	97.66	0.00	0.73	0.00	0.00	2.34
	ZC	0.00	92.89	0.00	6.19	3.30	7.11
	FR	1.56	0.00	98.11	1.20	0.00	1.89
	FD	0.68	1.63	0.31	77.41	2.45	22.59
	ZE	0.00	3.66	0.00	0.00	91.03	8.97
	ACR	0.10	0.00	0.10	0.63	2.25	33.39
	S	0.00	1.83	0.73	14.56	0.97	19.42
	Commission (%)	25.06	39.15	2.65	28.91	3.66	

Source : Traitement images Landsat 1990 et 2010. PE : plan d'eau; FR : formation ripicole; S : steppe; FD : formation dunaire; ZC : zone de culture ; ZE : zone érodée ; ACR : affleurement cuirassé et rocheux.

Annexe 3g : Etat d'occupation des terres dans les trois villages en 1990 et en 2010

Type d'occupation des terres	Superficie en 1990		Superficie en 2010		Taux annuel de variation 1990-2010
	(ha)	**%**	**(ha)**	**%**	**%**
KEKENENE					
Formation ripicole	1405,88	12,30	2617,70	23,00	4,31
Steppe	2317,55	20,30	2995,20	26,20	1,46
Formation végétale sur placage sableux	2506,97	22,00	2088,98	18,30	-0,83
Zones cultivées	619,88	5,40	1052,10	9,22	3,49
Zone érodée	2621,22	23,00	1611,30	14,12	-1,93
Affleurement cuirassé / rocheux	1936,00	17,00	1042,22	9,14	-2,31
TOTAL	11407,50	100	11407,50	100	0
DAMPELA					
Formation ripicole	525,90	11,95	472,84	10,74	-0,50
Steppe	1084,39	24,64	1164,78	26,46	0,37
Formation dunaire	833,84	18,94	748,91	17,01	-0,51
Zones cultivées	1111,27	25,25	556,45	12,64	-2,50
Zone érodée	723,74	16,44	1420,50	32,30	4,81
Affleurement cuirassé / rocheux	121,80	2,78	37,46	0,85	-3,46
TOTAL	4400,94	100	4400,94	100	0
GANDÉFABOU					
Plan d'eau	3,24	0,10	2,10	0,04	-1,76
Formation ripicole	122,73	2,50	205,00	4,18	3,35
Steppe	1868,60	38,10	851,52	17,30	-2,72
Formation dunaire	1390,82	28,30	2603,11	53,00	4,36
Zones cultivées	965,90	19,70	269,35	5,50	-3,61
Zone érodée	430,80	8,80	789,30	16,10	4,16
Affleurement cuirassée/rocheux	121,41	2,50	183,12	3,88	2,54
TOTAL	4903,50	100	4903,50	100	0

Source : Traitement des images Landsat de 1990 et 2010.

Annexe 3h : Dynamique du peuplement ligneux selon les populations locales. ↗*: espèce en croissance ou envahissante,* → *: stable,* ↘*: espèce en baisse,* ↓*: espèce disparue localement,* ⇩ *: en voie de disparition,* ⇧ *: espèce nouvellement introduites,* ▫ *: Pas de données.*

Nom scientifique	**Dampela**	**Gandéfabou**	**Kékénéné**
Acacia laeta	↘	▫	↘
Acacia nilotica	↘	▫	▫
Acacia senegal	▫	↘	↘
Acacia seyal	▫	↘	↘
Acacia raddiana	↘	↗	↘
Acacia pennata	▫	▫	↘
Adansonia digitata	↓	↓	↓
Anogeissus leiocarpus	↘	↘	↘
Azadirachta indica	▫	▫	⇧
Balanites aegyptiaca	↗	↗	↗
Bauhinia rufescens	▫	▫	↘
Boscia angustifolia	↘	▫	↘
Celtis integrifolia	⇩	▫	▫
Combretum aculeatum	▫	▫	↘
Combretum glutinosum	↘	→	↘
Combretum micranthum	→	↘	↘
Daniella oliveri	↘	▫	▫
Diospyros mespiliformis	↘	▫	↘
Eucalyptus camaldulensis	⇧	▫	▫
Faidherbia albida	↗	↘ ⇩	↗
Grewia bicolor	↘	▫	▫
Guiera senegalensis	↗	▫	▫
Kaya senegalensis	↓	▫	▫
Lannea spp	↓	▫	▫
Manguifera Indica	⇧	▫	▫
Mitragyna inermis	↘	▫	↘
Nauclea spp	↓	▫	▫
Piliostigma reticulatum	↗	▫	→
Prosopis juliflora	▫	↘	▫
Prosopis spp,	▫	⇧	▫
Pterocarpus lucens	↘	↘	↘
Sclerocarya birrea	↘	▫	↘
Vitex doniana	↓	▫	▫
Ziziphus mauritiana	⇩	↘	↘
Ziziphus spp	▫	▫	⇧

Source : Enquêtes terrain, 2011.

ANNEXE 4 : Liste des publications et communications

Annexe 4a : Publications

- Contribution de l'indice dérive ICN et ICV dans l'analyse de l'évolution récente de la biomasse au Sahel, Burkina Faso, accepté pour publication dans la revue des publications scientifiques géographiques « Geo SP »,

- Analyse multi-scalaire de la biomasse : application de l'indice dérivé ICN au nord du Burkina Faso, soumis dans la revue scientifique « TÉLÉDÉTECTION »,

- Perception locale de la dynamique du peuplement ligneux des vingt dernières années au Sahel burkinabè, soumis dans la revue scientifique « Vertigo »,

- Effet de la variabilité climatique et des activités anthropiques sur la dynamique de l'occupation des terres à Gandéfabou dans le Sahel burkinabè (manuscrit),

- Dynamique spatio-temporelle de l'occupation des terres au Sahel burkinabè : exemple du village de Dampela, soumis dans la revue scientifique « Les Cahiers d'Outre-Mer »,

- Dynamique des paysages à Kékénéné dans le Sahel burkinabé, soumis dans la revue scientifique « LArbe ».

Annexe 4b : Communications

CONTRIBUTION DE L'INDICE DERIVE ICN ET ICV DANS L'ANALYSE DE L'EVOLUTION RECENTE DE LA BIOMASSE AU SAHEL, BURKINA FASO[8]

Ouoba Pounyala Awa, Paré Souleymane, Da Dapola Evariste Constant et Kambiré Hyacinthe

Résumé

La dynamique des écosystèmes sahéliens est une préoccupation majeure depuis les crises de sécheresse des années 1970. Les nombreuses études réalisées sur les écosystèmes sahéliens au cours des dernières décennies ont surtout porté sur la végétation naturelle en particulier. Beaucoup de ces travaux sont généralement basés sur l'utilisation de données brutes d'images NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) du satellite NOAA à faible résolution de 8 km × 8 km. Dans la présente étude, des indices dérivés du NDVI sont testés avec l'utilisation d'images de résolution plus grande - 1km × 1 km - de SPOT Végétation. L'objectif est d'appréhender les tendances d'évolution du couvert végétal et d'évaluer les causes de l'évolution de la biomasse au cours de la dernière décennie au Sahel burkinabé. La méthodologie utilisée est l'analyse de séries décadaires d'images SPOT VEGETATION, au moyen de deux indices dérivés du NDVI que sont l'Indice de Croissance Normalisée (ICN) et l'Indice de Condition de la Végétation (ICV). Les résultats de l'ICN montrent une variabilité temporelle, et spatiale selon un gradient nord-sud de la croissance de la biomasse. L'analyse révèle également des tendances de croissance contrastées de la végétation, en fonction des années et de la localisation. La détermination des causes de l'évolution par l'ICV, indique une succession d'années sèches et d'autres pluvieuses. L'analyse de cet indice décèle l'existence des poches de sécheresse au cours du mois le plus pluvieux - aout -, qui correspond à la période d'accumulation maximale de biomasse au Sahel. Les analyses permettent de déduire que la principale cause d'évolution de la biomasse au Sahel burkinabé est d'ordre climatique. Les résultats à l'échelle locale montrent que l'ICN et l'ICV permettent de mieux appréhender les causes de l'évolution de la biomasse d'une part, et d'autre part d'apprécier la situation de la campagne agricole ; de ce faite ce sont des outils qui peuvent contribuer efficacement à la prise de décision en matière de prévision ou diagnostic en agriculture, et d'application de stratégies d'adaptation au changement climatique, et donc de gestion durable des ressources naturelles.

Mots clés : Evolution de la biomasse, ICN, ICV, Sahel, Burkina Faso.

[8] Communication présentée au Congrès international géo-Tunis du 8 au 12 avril 2013 à Hammamet en Tunisie, sous le thème : « L'application des méthodes GIS, de la télédétection et des technologies en géo-espace, pour résoudre les problèmes de développement environnemental et social ».

DYNAMIQUE DES PAYSAGES A KEKENENE DANS LE SAHEL BURKINABE[9]

Ouoba Pounyala Awa, Da Dapola Evariste Constant, Paré Souleymane et Kékélé Adama

Résumé

Les paysages des régions semi-arides et arides se modifient sous les effets combinés des changements d'utilisations des terres et du changement climatique. La littérature sur l'évolution des écosystèmes sahéliens est abondante, cependant la plupart des études sont réalisées à une échelle régionale, qui ne permet pas très souvent une meilleure appréhension des processus qui concourent à la dynamique des paysages. A l'échelle locale, les résultats de recherche sur la transformation des paysages sont beaucoup focalisés sur les domaines forestiers ou zones agricoles; de ce faite, les études de conversion de l'occupation des terres dans les zones pastorales sont plus rares. L'étude de la dynamique de l'occupation des terres a été réalisée à Kékénéné, dans la région du Sahel burkinabé. L'analyse de la matrice de transition à travers l'utilisation des images satellites, révèle que toutes les unités ont connu un changement entre 1990 et 2010. L'unité qui a connu le plus grand changement est celle des zones cultivées qui a doublé de superficies et progresse vers le Nord du terroir ; la steppe par contre, a peu progressé. La superficie des formations végétales sur placage sableux, des zones érodées et des affleurements cuirassés et rocheux ont connu des réductions. La tendance générale de l'évolution de l'occupation de terres est à la dégradation entre 1990 et 2010, malgré l'accroissement de l'indice de pluies standardisées (SPI) de la zone. Les principaux facteurs influençant la dégradation sont principalement, l'agriculture extensive, la variabilité climatique, et le surpâturage. Cette tendance actuelle de la dynamique engendre des conséquences écologiques et socio- économiques, impliquant la nécessité d'une planification de l'utilisation des terres pour une gestion durable des ressources naturelles.

Mots clés : Occupation des terres, Couvert végétal, Dégradation, Matrice de transition, Sahel, Burkina Faso.

[9] Communication présentée aux journées scientifiques tenues à Lomé au Togo du 6 au 8 juin 2013, en hommage à feu Augustin Lardja BARITSE, sous le thème : « La géographie au service du développement ».

ANNEXE 5 : Guide d'entretien et de focus groups

Annexe 5a : Guide d'entretien avec les conseillers villageois de développement

1. Quel est le nombre de quartiers de votre village ?
2. Quelles sont les ethnies qui composent le village ?
3. Quelle est la plus dominante ?
4. Quels sont les groupes socio professionnels
5. Qui gère les terres ?
6. Comment est l'accès à la terre ? facile ou difficile ?
7. Ya t-il suffisamment de terre ?
8. Ya t-il des règlements traditionnels de pâturage ?
9. Sont t-ils respectés ?
10. Quelles sont les préoccupations de votre village ?
11. Comment percevez-vous l'évolution du climat ces 10 dernières années ? ces 20 dernières années ?
12. Quels sont les causes et les conséquences de cette évolution ?
13. Comment percevez-vous l'évolution de la végétation ces 10 dernières années ? ces 20 dernières années ?
14. Quels sont les causes et les conséquences de l'évolution de la végétation évolution ?
15. Quelles actions menées vous localement pour la gestion de la végétation ?
16. Êtes-vous appuyé par des ONG, les services étatiques et les associations dans cette gestion ?
17. Comment la production agricole a évolué au cours des 10 dernières années ? ces 20 dernières années ?
18. Quels sont les problèmes de l'agriculture dans votre village ?

19. Quels sont les problèmes au niveau des sols ? comment les gérez-vous ?

20. Comment l'élevage a-t-il évolué ces 10 dernières années ? ces 20 dernières années ?

21. Quelle est la situation de l'eau dans votre village ?

22. Quelle la situation du pâturage ?

23. Y'a-t-il des éleveurs étrangers qui traversent ou séjournent dans votre village ?

24. Quel type de problème cela engendre t-il ?

25. Y'a-t-il des gens qui quittent le village ? pourquoi ?

Annexe 5b : Guide focus groups

NOM DU VILLAGE

A. DYNAMIQUE DES VINGT DERNIERES ANNEES

I. POPULATION
Présence de migrants dans le village
Origine
Ethnies arrivées
Départ de population (destination)
Raison de départ
Activités socioprofessionnelles (par ethnie, par résident/migrant Mossi Peul Fulsé Autres
II. VEGETATION
Densité arbres
Espèces disparues
Espèces apparues
Espèces nouvellement introduites
Projets intervenus pour la gestion du couvert végétal
III.CLIMAT
PLUIE
Quantité de pluies de l'hivernage
Poches de sécheresse
Inondations pendant l'hivernage
Durée de l'hivernage
TEMPERATURE
Intensité pendant la saison sèche
Intensité pendant l'hivernage
VENTS
Fréquence et durée de vents forts pendant la saison sèche
Fréquence et durée de vents forts pendant l'hivernage
Intensité des poussières et vents de sables

B. IMPACT ET STRATEGIES

PARAMETRES	IMPACT EN AGRICULTURE	STRATEGIES	IMPACT EN ELEVAGE	STRATEGIES
PLUIE				
Quantité de pluies de l'hivernage				
Poches de sécheresse				
Inondations pendant l'hivernage				

Durée de l'hivernage				
TEMPERATURE				
Intensité pendant la saison sèche				
Intensité pendant l'hivernage				
Durée des périodes froides				
Durée des périodes chaudes				
VENTS				
Fréquence et durée de vent fort pendant la saison sèche				
Fréquence et durée de vents forts pendant l'hivernage				
Intensité des poussières et vents de sables				

ANNEXE 6 : Questionnaire d'enquête ménage

Enquêteur : Date: N° Questionnaire :

Province : Département : Village :

I. IDENTIFICATION DU REPONDANT

N°	Questions	Réponses (catégorie de codage)		Commentaire
101	Age	/ / /		
102	Sexe	Féminin ……	1	
		Masculin ……	2	
103	Groupe ethnique	Peulh……..	1	
		Tama check……	2	
		Fulsé …….	3	
		Sonraï ……	4	
		Mossi……..	5	
		Autres……..	6	
		(à préciser)		
104	Statut de résidence	Autochtone……	1	
		Migrant ……..	2	
105	Durée de résidence	Moins de 10 ans……	1	
		10 - 20 ……	2	
		20 – 30ans ……	3	
		30 – 40 ans …….	4	
		40 ans et plus …….	5	
106	Niveau d'étude du répondant	Aucun……	1	
		Alphabétisation……..	2	
		Education religieuse		

		coranique)……. Primaire…… Secondaire…….	3 4 5	
107	Activité socioprofessionnelle	Agriculteur…… Eleveur…… Agropasteur…… Autre…….. (à préciser)	1 2 3 6	
108	Nombre de personnes du ménage	Moins de 5…….. 5 – 10…….. 10 – 20…….. 20 et plus……..	1 2 3 4	
109	Personnes actives en agriculture	/ / /		
110	Personnes en pastoralisme	/ / /		
111	Personnes migrées permanentes, mais faisant toujours parties du ménage	/ / /		
112	Causes principales de départ des migrants			

II. AGRICULTURE ET ELEVAGE

N°	**Questions**	**Réponses (catégorie de codage)**		**Commentaire**
201	**La superficie cultivée de l'exploitant**			
201A	Situation foncière des parcelles	Propriétaire ……. Prêt……. Location…….. Autre ……	1 2 3 6	

201B	Nombre total de champs	Un champ……. 2- 4 champs…….. 5- 7 champs…… Plus de 7 champs……	1 2 3 4	
201C	Nombre de champs actuels en culture	/ / /		
201D	Disponibilité de la main d'œuvre	Augmenté…… Diminué…….. Stable……. Ne sait pas……..	1 2 3 8	
201E	Accessibilité de terres	Facile……. Difficile……. Ne sait pas…….	1 2 8	
201F	Attribution des terres	Chefs de terres…… Commune…… Ne sait pas……..	1 2 8	
201G	Accessibilité de semences	Facile……. Difficile……. Ne sait pas…….	1 2 8	
201H	Accessibilité de fumier/compost	Facile……. Difficile……. Ne sait pas…….	1 2 8	
201I	Accessibilité d'engrais	Facile……. Difficile……. Ne sait pas…….	1 2 8	
201J	Utilisation de semences améliorées	Oui……. Non……. Ne sait pas……	1 2 8	

201K	Situation d'utilisation semences améliorées	Augmenté…… Diminué…….. Stable……. Ne sait pas……..	1 2 3 8	
201L	Matériels agricoles	Tracteur..... Charrue..... Charette..... Semoir..... Hilaires..... Presse à foin..... Autres……	1 2 3 4 5 6 7	
202	**Elevage**			
202A	Système d'élevage	Sédentaire…….. Semi sédentaire…… Transhumant…… Embouche……..	1 2 3 4	
202B	Changement au cours des 20 dernières années Sédentaire Semi sédentaire Transhumant Embouche	 1Aug 2Sta 3Dim 8NSP 1Aug 2Sta 3Dim 8NSP 1Aug 2Sta 3Dim 8NSP 1Aug 2Sta 3Dim 8NSP		
202C	Causes d'évolution			
202D	Espèces animales élevées			
	Changement au cours des derniers 20 ans Bœufs			

	Chèvres Moutons Anes Volailles Autres	1Aug 2Sta 3Dim 8NSP 1Aug 2Sta 3Dim 8NSP 1Aug 2Sta 3Dim 8NSP 1Aug 2Sta 3Dim 8NSP 1Aug 2Sta 3Dim NSP 1Aug 2Sta 3Dim 8NSP		
202E	Causes d'évolution			

III. PERCEPTION DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES AU COURS DES 20 DERNIERES ANNEES

	Indicateurs de perception des populations	**Changement au cours des 20 ans passés**	**Causes éventuelles des changements**
301A	Superficie des jachères	1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 6=ne sait pas	
301B	Superficie des zones dénudées	1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 6=ne sait pas	
301C	Evolution superficie végétation)	1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 6=ne sait pas	
301D	Utilisation des bas-fonds	1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué	

		6=ne sait pas	
301E	Densité des arbres et arbustes	1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 6=ne sait pas	
301F	Diversité des espèces (herbe ligneux)	1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 6=ne sait pas	
301G	Existence de conflits fonciers	1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 6=ne sait pas	

IV. PERCEPTION DU CHANGEMENT ET VARIABILITE CLMATIQUE AU COURS DES 20 DERNIERES ANNEES

401	**Pluie**		
401A	Début de l'hivernage	1=précoce 2=tardif 3=ne sait pas	
401B	Fin de l'hivernage	1=précoce 2=tardif 3=ne sait pas	
401C	Durée de l'hivernage	1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 6=ne sait pas	
401D	Quantité de pluies de l'hivernage	1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 6=ne sait pas	

401E	Poches de sécheresse	1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 6=ne sait pas	
401F	Inondations pendant l'hivernage	1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 6=ne sait pas	
401G	Sécheresse	1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 6=ne sait pas	
402	**Température**		
402A	Intensité pendant l'hivernage	1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 6=ne sait pas	
402B	Durée des périodes froides	1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 6=ne sait pas	
402C	Durée des périodes chaudes	1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 6=ne sait pas	
403	**Les vents**		
403A	Fréquence et durée de vents forts pendant l'hivernage	1=Augmenté 2=Stable 3=Diminué 6=ne sait pas	
403B	Intensité des poussières et vents de sables	1=Augmenté 2=Stable	

		3=Diminué 6=ne sait pas	

V. PERCEPTION DES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LES STRATEGIES LOCALES D'ADAPTATION

N°	**Catégorie réponses**	**Impacts négatifs ou positifs**	**stratégie**
501	**Impacts et stratégies d'adaptation rendement agricole.**		
501A	Début tardif des pluies		
501B	Fin précoce des pluies		
501C	Pluies abondante (quantité d'eau par pluie)		
501D	Courte durée de l'hivernage		
501 E	Longue durée de l'hivernage		
501F	Longue période d'inondations des cultures		
501G	Courte période inondations		
501H	Mauvaise répartition spatiale des pluies		
501I	Manque ou insuffisance des pluies		
501J	Poches de sécheresse		
501K	Augmentation de la chaleur pendant l'hivernage sur culture		
501L	Durée période chaude en hivernage sur culture		
501M	Durée et fréquence vents de poussière forts		
501N	Intensité de vents de sable		
502	**Impacts négatifs et stratégies d'adaptation maladies des cultures**		
502A	Début tardif des pluies		

502B	Fin précoce des pluies		
503	**Impacts négatifs et stratégies d'adaptation de la végétation naturelle**		
503A	Début tardif des pluies		
503B	Fin précoce des pluies		
504	**Impacts négatifs et stratégies d'adaptation des animaux (santé animale)**		
504A	Début tardif des pluies		
504B	Fin précoce des pluies		
504C	Pluies abondante (quantité d'eau par pluie)		
505	**Impacts négatifs et stratégies d'adaptation des sols**		
505A	Début tardif des pluies		
506	**Impacts négatifs et stratégies d'adaptation de la disponibilité du pâturage**		
506A	Début tardif des pluies		
506B	Fin précoce des pluies		
506C	Pluies abondante (quantité d'eau par pluie)		

5.7. Que feriez-vous en cas de sécheresse – pendant une campagne?

□ Chercher une autre activité au niveau du village ou villages voisins (si oui, laquelle ?)

□ Migrer définitivement vers d'autres régions

□ Attendre la saison des cultures maraîchères

□ Vente d'animaux

□ Baisse du nombre de repas quotidiens

□ Baisse de la ration alimentaire

□ Autre (préciser)

Commentaires éventuels :

5.8. Que feriez-vous en cas d'une aridification permanente du climat ?

□ Chercher des nouvelles cultures (si oui, lesquelles ?)

□ Chercher des nouvelles variétés des cultures actuelles (si oui, lesquelles ?)

□ Plus de fertilisation des sols

□ Moins de fertilisation des sols

□ Réduire les surfaces cultivées

□ Migration permanente (si oui, ou ?)

□ Transhumance

□ Vente d'animaux

□ Autres (préciser)

Commentaire éventuel :

5.9. Que feriez-vous en cas d'une amélioration des conditions climatiques ?

□ Chercher des nouvelles cultures (si oui, lesquelles ?)

□ Chercher des nouvelles variétés des cultures actuelles (si oui, lesquelles ?)

□ Plus de fertilisation des sols

□ Moins de fertilisation des sols

□ Augmenter les surfaces cultivées

□ Migration permanente (si oui, ou ?)

□ Transhumance

□ Vente d'animaux

□ Autres (préciser)

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Table des figures

Figure 1 : Cadre conceptuel de l'étude 43

Figure 2 : Image satellite en composition colorée 7/4/3 (RVB) autour de Gandéfabou 52

Figure 3 : Localisation des trois villages sites 65

Figure 4 : Esquisse géomorphologique de Kékénéné 67

Figure 5 : Répartition des ménages enquêtés par sexe 74

Figure 6 : Répartition ethnique des ménages enquêtés 74

Figure 7 : Statut de résidence des ménages répondants 75

Figure 8 : Niveau d'éducation des enquêtés 75

Figure 9 : Formes d'accès à la terre 78

Figure 10 : Activités professionnelles des ménages enquêtés 80

Figure 11 : Condition d'accès à la terre 83

Figure 12 : Matériels agricoles utilisés 85

Figure 13 : Types d'élevage 87

Figure 14 : Evolution des effectifs bovins 88

Figure 15 : Evolution des effectifs caprins 88

Figure 16 : Domaines climatiques du Burkina Faso 95

Figure 17a : Diagramme ombro-thermique de la station de Gorom-Gorom (1971-2010) 96

Figure 17b : Diagramme ombro-thermique de la station d'Aribinda (1971-2010) 96

Figure 18a : Evolution des écarts de précipitations en valeurs absolues par rapport à la moyenne de la série de 1955 à 2010 de Gorom-Gorom 99

Figure 18b : Evolution des écarts de précipitations en valeurs absolues par rapport à la moyenne de la série de 1955 à 2010 d'Aribinda 99

Figure 19a : Migration des isohyètes 600 et 900mm du Burkina Faso 101

Figure 19b : Fluctuation décennale des isohyètes 600 et 900mm du Burkina Faso 101

Figure 20a : Evolution du SPI dans la station d'Aribinda (1990 -2010) 104

Figure 20b : Evolution du SPI de la station de Gorom-Gorom (1990-2010) 105

Figure 21a : Evolution annuelle du nombre total de jours pluvieux à Aribinda..... 106

Figure 21b : Evolution annuelle du nombre total de jours pluvieux à Gorom-Gorom..... 106

Figure 22a : Occurrence annuelle du nombre de jours de pluies supérieures à 30 mm à Aribinda (1991-2010)..... 107

Figure 22b : Occurrence annuelle du nombre de jours de pluies supérieures à 30 mm à Gorom-Gorom (1991-2010) 107

Figure 23a : Evolution de la date du début de la saison des pluies à Aribinda (1991-2010)..... 109

Figure 23b : Evolution de la date du début de la saison des pluies à Gorom-Gorom (1991-2010)..... 109

Figure 24a : Evolution de la date de la fin de la saison des pluies à Aribinda (1991-2010) 110

Figure 24b : Evolution de la date de fin de saison à Gorom-Gorom (1991-2010)..... 111

Figure 25a : Evolution de la durée de la saison des pluies à Aribinda (1991-2010) 112

Figure 25b : Evolution de la durée de la saison des pluies à Gorom-Gorom (1991-2010) 112

Figure 26a : Fréquence des décades arrosées et détermination de la période humide utile à Aribinda116

Figure 26b : Fréquence des décades arrosées et détermination de la période humide utile à Gorom-Gorom..... 117

Figure 27a : Occurrence des pluies journalières supérieures à 30 mm à Aribinda (1991-2010)..... 118

Figure 27b : Occurrence des pluies journalières supérieures à 30 mm à Gorom-Gorom (1991-2010)119

Figure 28a : Evolution de la séquence sèche maximale en juillet à Aribinda (1991-2010) 119

Figure 28b : Evolution de la séquence sèche maximale en août à Aribinda (1991-2010) 120

Figure 28c : Evolution de la séquence sèche maximale en août à Gorom-Gorom (1991-2010)..... 120

Figure 29a : Evolution du nombre de jours secs à Aribinda 122

Figure 29b : Evolution du nombre de jours secs à Gorom-Gorom 122

Figure 30 : Evolution interannuelle de la température moyenne de Dori de 1971 à 2010 123

Figure 31 : Evolution interannuelle de la température moyenne du mois d'août de 1971 à 2010 (station de Dori) 124

Figure 32 : Evolution des températures moyennes mensuelles maximales et minimales de Dori de 1971 à 2010 125

Figure 33 : Evolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent à Dori (1971-2010)..... 126

Figure 34 : Evolution interannuelle de la vitesse moyenne du vent de la station de Dori de 1991 à 2010 126

Figure 35 : Evolution interannuelle de la d'humidité relative moyenne de la station de Dori de 1991 à 2010 127

Figure 36 : Evolution mensuelle de l'évapotranspiration moyenne de la station de Dori de 1971 à 2010 128

Figure 37 : Evolution interannuelle de la l'évapotranspiration moyenne du mois d'août de la station de Dori de 1971 à 2010 129

Figure 38 : Perceptions paysannes de l'évolution du début de la saison des pluies dans les trois villages. 132

Figure 39 : Perceptions paysannes de l'évolution de la fin de la saison des pluies dans les trois villages. 132

Figure 40a : Perceptions des causes d'évolution des précipitations à Dampela 137

Figure 40b : Perceptions des causes d'évolution des précipitations à Gandéfabou Kelwélé. 137

Figure 41a : Perceptions des causes d'évolution des températures et des vents à Dampela 139

Figure 41b : Perceptions des causes d'évolution des températures et des vents à Gandéfabou Kelwélé. 140

Figure 41c : Perceptions des causes d'évolution des températures et des vents à Kékénéné 140

Figures 42 : Cartes de l'indice de croissance normalisé –ICN- à l'échelle régionale 163

Figure 43 : Cartes de l'indice de croissance normalisée à l'échelle locale 167

Figure 44 : Cartes de l'indice de condition de la végétation –ICV 176

Figure 45a : Carte d'occupation des terres en 1990 à Kékénéné 186

Figure 45b : Carte d'occupation des terres en 2010 à Kékénéné 187

Figure 46a : Carte d'occupation des terres en 1990 à Dampela 189

Figure 46b : Carte d'occupation des terres en 2010 à Dampela 190

Figure 47a : Carte d'occupation des terres en 1990 à Gandéfabou Kelwélé 192

Figure 47b : Carte d'occupation des terres en 2010 à Gandéfabou Kelwélé 193

Table des tableaux

Tableau 1: Villages d'étude 46

Tableau 2 : Variables et indicateurs de l'étude 47

Tableau 3 : Exemple de matrice de transition entre les dates t0 et t1 53

Tableau 4 : Evolution de la population dans les trois villages (1985-2006) 73

Tableau 5 : Caractéristiques du système de production agricole 83

Tableau 6 : Disponibilité de la main d'œuvre selon les enquêtés 84

Tableau 7 : Probabilité de la date du début de l'hivernage à Aribinda et Gorom-Gorom 109

Tableau 8 : Probabilité de la date de fin d'hivernage à Aribinda et Gorom-Gorom 111

Tableau 9 : Probabilité de séquence sèche maximale de juillet et août à Aribinda 121

Tableau 10 : Probabilité de séquence sèche maximale de juillet et août à Gorom-Gorom 121

Tableau 11 : Perceptions de l'évolution des précipitations des 20 dernières années dans les trois villages. 134

Tableau 12 : Perceptions de l'évolution des températures et vents des 20 dernières années dans les trois sites d'étude 136

Tableau 13 : Perceptions paysannes de dommages/pertes physiques des plantes par le changement et la variabilité climatiques des 20 dernières années 144

Tableau 14 : Perceptions paysannes des impacts climatiques sur la santé des plantes des 20 dernières années 146

Tableau 15 : Perceptions paysannes des impacts climatiques sur l'alimentation des animaux des 20 dernières années 148

Tableau 16 : Perceptions paysannes des impacts climatiques sur la santé des animaux des 20 dernières années 149

Tableau 17 : Stratégies d'adaptation aux impacts climatiques sur les dommages physiques des plantes des 20 dernières années (%) 155

Tableau 18 : Stratégies d'adaptation aux impacts climatiques sur la santé des cultures 156

Tableau 19 : Stratégies d'adaptation aux impacts climatiques sur la production animale 158

Tableau 20 : Valeur de la précision globale et de coefficient Kappa issues de la classification des images de 1990 et 2010 de Kékénéné 181

Tableau 21 : Valeur de la précision globale et de coefficient Kappa issues de la classification d'images de 1990 et 2010 de Dampela 182

Tableau 22 : Valeur de la précision globale et de coefficient Kappa issues de la classification d'images de 1990 et 2010 de Gandéfabou Kelwélé 183

Tableau 23 : Matrice de transition d'occupation des terres à Kékénéné de 1990 à 2010 (en pourcentage) 195

Tableau 24 : Matrice de transition d'occupation des terres à Dampela de 1990 à 2010 (%) 198

Tableau 25 : Matrice de transition d'occupation des terres à Gandéfabou Kelwélé de 1990 à 2010 (%) 203

Tableau 26: Synthèse de la perception du changement environnemental des 20 dernières années dans la zone d'étude..... 209

Tableau 27: Perception locale de l'évolution des écosystèmes des 20 dernières années 210

Tableau 28 Perceptions de changements environnementaux à travers les focus groups par villages. (N =10 pour chaque village)..... 211

Table des annexes

ANNEXE 1 : Caractéristiques géomorphologique et morpho-pédologique de la zone d'étude 257

ANNEXE 2 : Evolution des paramètres climatiques..... 262

ANNEXE 3 : Matrice de confusion et erreurs d'omission et de commission et perception de la dynamique des ressources naturelles..... 272

ANNEXE 4 : Liste des publications et communications 277

ANNEXE 5 : Guide d'entretien et de focus groups 280

ANNEXE 6 : Questionnaire d'enquête ménage 284

Table des photos

Photo 1 : Hilaire…….86

Photo 2 : Utilisation de l'hilaire à Dampela……..86

Photo 3 : Utilisation de la Charrue à Dampela…….....86

Photo 4 : Utilisation du tracteur à Kékénéné……86

Photo 5 : Surface de sol décapé par érosion hydrique à Kékénéné…….....197

Photo 6 : Chablis par action éolienne facilitée par l'humidité du sol à Kékénéné……..197

Photo 7 : Arbre desséché dans un bas-fond à Dampela…….201

Photo 8 : Arbustes desséchés à Dampela……..201

Photo 9 : *Balanites aegyptiaca* rabougri à Gandéfabou Kelwélé……...205

Photo 10 : *Faidherbia albida* émondé à Gandéfabou Kelwélé……..205

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS **3**

SOMMAIRE **5**

LISTE DES ACRONYMES **6**

RESUME **8**

ABSTRACT **9**

INTRODUCTION **10**

PREMIERE PARTIE : CADRE THEORIQUE , CONCEPTUEL ET GEOGRAPHYQUE **17**

CHAPITRE 1 : CADRE THEORIQUE ET METHODOLOGIQUE **18**

1.1 CADRE THEORIQUE DE L'ETUDE 19

1.1.1 Changement et variabilité climatiques au Sahel 19

1.1.1.1 Causes du changement et de la variabilité climatiques 19

1.1.1.2 Changements climatiques observés et prédits 20

1.1.2 Impacts du changement climatique 22

1.1.2.1 Changement climatique et agriculture 23

1.1.2.2 Changement climatique et élevage 25

1.1.3 Dynamique des écosystèmes 25

1.1.3.1 Tendances d'évolution des écosystèmes 26

1.1.3.2 Causes d'évolution de la végétation 27

1.1.4 Perception locale et stratégies d'adaptation au changement climatique et environnemental 28

1.1.4.1 Perception paysanne du changement climatique et environnemental 29

1.1.4.2 Adaptation au changement climatique et environnemental 29

1.2 CADRE CONCEPTUEL DE L'ETUDE 31

1.2.1 Justification de l'étude 31

1.2.2 Hypothèses et objectifs de recherche 34

1.2.3 Définition des concepts 36

1.3 APPROHES METHODOLOGIQUES 44

1.3.1 Démarche de l'étude 44

1.3.1.1 Stratégie de collecte et d'analyse des données 44
1.3.1.2 Choix des sites d'étude 45
1.3.1.3 Variables et paramètres d'analyse de l'étude 46
1.3.2 Approche spatiale : images satellites et cartographie 49
1.3.2.1 Echelle régionale 49
1.3.2.2 Echelle locale 51
1.3.3 Approche d'étude des paramètres biophysiques 54
1.3.3.1 Données climatiques 54
1.3.3.2 Observations directes de terrain 58
1.3.4 Méthodologie et approche d'étude sociologique 58
1.3.4.1 Méthodologie de recherche 58
1.3.4.2 Approche d'étude sociologique 59
CHAPITRE 2 : CADRE GEOGRAPHIQUE DE L'ETUDE 61
2.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE ET CARACTERISTIQUES BIOPHYSIQUES DE LA ZONE D'ETUDE 62
2.1.1 Situation géographique de la zone d'étude 62
2.1.1.1 Notion du Sahel 62
2.1.1.2 Situation géographique des sites d'étude 64
2.1.2 Caractéristiques biophysiques de la zone d'étude 66
2.1.2.1 Organisation du paysage de Dampela 67
2.1.2.2 Organisation du paysage de Kékénéné 69
2.1.2.3 Organisation du paysage de Gandéfabou Kelwélé 70
2.2 CARACTERISTIQUES SOCIO-ECONOMIQUES DE LA ZONE D'ETUDE ET DES MENAGES ENQUETES 71
2.2.1 Données démographiques 71
2.2.2 Structure sociale de la zone d'étude 77
2.2.3 Caractéristiques économiques de la zone d'étude 79
2.3 CARACTERISTIQUES DES SYSTEMES DE PRODUCTION AGRICOLE ET PASTORALE 81

2.3.1 Caractéristiques du Système de production agricole 82

2.3.2 Caractéristiques du système de production pastorale 86

2.3.3 Organisation de l'espace agricole et pastoral 89

DEUXIEME PARTIE : VISION SCIENTIFIQUE ET PERCEPTION PAYSANNE DE L'EVOLUTION DU CLIMAT 92

CHAPITRE 3 : VISION SCIENTIFIQUE DU CHANGEMENT ET DE LA VARIABILITE CLIMATIQUES 93

3.1 CONTEXTE CLIMATIQUE 93

3.1.1 Contextes régional et national 93

3.1.2 Régime pluviométrique 95

3.2 VARIABILITE TEMPORELLE ET SPATIALE DES PLUIES A LONG TERME 96

3.2.1 Evolution temporelle de la pluviométrie 97

3.2.2 Evolution spatiale de la pluviométrie 100

3.3 VARIABILITE DES PARAMETRES PLUVIOMETRIQUES DE 1990-2010 103

3.3.1 Variabilité interannuelle des paramètres saisonniers des précipitations 103

3.3.1.1 Evolution du SPI 103

3.3.1.2 Evolution annuelle du nombre de jours pluvieux 105

3.3.1.3 Evolution interannuelle des pluies supérieure à 30 mm 106

3.3.1.4 Evolution de la date du début de la saison des pluies 108

3.3.1.5 Evolution de la date de la fin de saison des pluies 110

3.3.1.6 Evolution de la durée de la saison des pluies 111

3.3.2 Variabilité intra-saisonnière des paramètres pluviométriques 113

3.3.2.1 Détermination des périodes utiles pour les cultures 113

3.3.2.2 Répartition intra-saisonnière des pluies journalières extrêmes 118

3.3.2.3 Evolution de la séquence sèche maximale 119

3.3.2.4 Evolution du nombre de jours secs 121

3.4 VARIABILITE INTERANNUELLE D'AUTRES PARAMETRES CLIMATIQUES 123

3.4.1 Evolution des températures et des vents 123

3.4.2 Evolution de l'humidité et de l'évapotranspiration 127

CHAPITRE 4 : PERCEPTIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET STRATEGIES D'ADAPTATION 130

4.1 PERCEPTIONS DU CHANGEMENT ET DE LA VARIABILITE CLIMATIQUES 130

4.1.1 Perceptions de l'évolution des paramètres climatiques 130

4.1.2 Perceptions des causes du changement et de la variabilité climatiques 136

4.2 PERCEPTIONS DES IMPACTS SUR LA PRODUCTION AGRICOLE 141

4.2.1 Perceptions des dommages agricoles 141

4.2.2 Perceptions des maladies des cultures 145

4.3 PERCEPTIONS DES IMPACTS SUR LES ACTIVITES PASTORALES 147

4.3.1 Perceptions des impacts sur la disponibilité du pâturage et de l'eau 147

4.3.2 Perceptions des impacts sur la santé animale 148

4.4 ADAPTATION AU CHANGEMENT ET A LA VARIABILITE CLIMATIQUES 150

4.4.1 Stratégies d'adaptation en agriculture 150

4.4.1.1 Réponse paysanne à la variabilité des débuts tardifs et faux départ des pluies 150

4.4.1.2 Réponse paysanne à la variabilité des fortes pluies et inondations 152

4.4.1.3 Réponse paysanne à la variabilité des fins précoces des pluies 153

4.4.1.4 Réponse paysanne à l'augmentation de la chaleur pendant l'hivernage 154

4.4.1.5 Réponse paysanne à la variabilité de la durée et à la fréquence des vents forts 154

4.4.2 Stratégies d'adaptation en élevage 157

TROISIEME PARTIE : DYNAMIQUE DE LA VEGETATION ET PERCEPTION PAYSANNE 160

CHAPITRE 5 : DYNAMIQUE DE LA BIOMASSE 161

5.1 EVOLUTION DE LA BIOMASSE A L'ECHELLE REGIONALE 161

5.2 RESULTATS DE L'EVOLUTION DE LA BIOMASSE A L'ECHELLE LOCALE 166

5.3 DISCUSSION ET COMPARAISON DES DEUX ECHELLES D'ANALYSE 170

5.4 CAUSES DE LA DYNAMIQUE 173

CHAPITRE 6 : DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES ET PERCEPTION PAYSANNE 180

6.1 CLASSIFICATION NUMERIQUE DES IMAGES 180

6.1.1 Qualité de la classification à Kékénéné 181

6.1.2 Qualité de la classification à Dampela 182

6.1.3 Qualité de la classification à Gandéfabou Kelwélé 183
6.2 SITUATION DE L'OCCUPATION DES TERRES EN 1990 ET EN 2010 184
6.2.1 Etat d'occupation des terres à Kékénéné 184
6.2.2 Etat d'occupation des terres à Dampela 188
6.2.3 Etat d'occupation des terres à Gandéfabou Kelwélé 191
6.3 DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES 194
6.3.1 Evolution de l'occupation des terres entre 1990 et 2010 à Kékénéné 194
6.3.2 Evolution de l'occupation des terres entre 1990 et 2010 à Dampela 198
6.3.3 Evolution de l'occupation des terres entre 1990 et 2010 à Gandéfabou 202
6.4 PERCEPTION PAYSANNE DE L'EVOLUTION DES RESSOURCES NATURELLES 206
6.4.1 Perception des ressources naturelles 206
6.4.2 Perception des causes d'évolution des ressources naturelles 215
CONCLUSION 219
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 228
ANNEXES 255
TABLES DES ILLUSTRATIONS 294
TABLE DES MATIERES 300

Thèse de doctorat unique

N° :

CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DYNAMIQUE DE LA VEGETATION ET PERCEPTION PAYSANNE DANS LE SAHEL BURKINABE

Résumé

Les changements et variabilités climatiques sont une préoccupation majeure actuelle du monde. Ils ont des impacts sur les économies sahéliennes, notamment l'agriculture, et sur les écosystèmes naturels. Depuis les crises de sécheresse, les études sur la dynamique des écosystèmes dans les zones soudano-sahéliennes ont connu un réel accroissement ; malgré cette abondance de littérature, des insuffisances ou lacunes persistent toujours quant à l'appréhension des spécificités de cette dynamique au Sahel, surtout à l'échelle locale. De plus, les études sur la perception des populations paysannes, dans l'analyse de l'évolution des ressources naturelles et de l'évolution du climat restent toujours limitées au niveau du Sahel burkinabè.

C'est dans ce contexte que se situe la présente thèse qui vise principalement à évaluer l'évolution du climat et des écosystèmes, en rapport avec la perception paysanne au Sahel, au cours de ces vingt dernières années. Pour atteindre cet objectif, plusieurs méthodes et approches ont été utilisées. L'analyse a porté sur les tendances d'évolution de la biomasse, sur l'occupation des terres, sur le changement climatique, et enfin sur la perception. L'approche adoptée combine l'analyse numérique d'images satellitaires, l'utilisation d'indices dérivés du NDVI, l'emploi de données climatiques, l'utilisation de données issues d'enquêtes et d'observations de terrain.

Les principales conclusions issues des résultats de l'étude sont : - a) on observe une évolution négative des paramètres climatiques au cours des deux dernières décennies ; - b) la quasi-totalité de la population perçoit une évolution négative des différents paramètres climatiques , ce qui concorde dans la majorité des cas avec nos analyses des données météorologiques ; - c) les changements et variabilités climatiques ont des impacts négatifs sur les activités des populations qui ont développé de multiples stratégies surtout réactives pour y faire face ; - d) la tendance générale de l'évolution de la biomasse et de l'occupation des terres au cours des vingt dernières années, est à la dégradation continue dans les trois villages étudiés ; - e) Les populations locales ont une bonne appréhension de l'évolution des écosystèmes. Leur vision est une tendance générale à la dégradation des ressources naturelles en particulier, le couvert végétal, un constat qui confirme les résultats de l'analyse spatiale.

Davantage d'études seront réalisées sur les perceptions paysannes et la dynamique des milieux au Sahel, afin d'améliorer et de redéfinir les stratégies d'adaptation climatique, et proposer la gestion durable et la valorisation des ressources naturelles.

Mots clés : Changement climatique -Dynamique de la végétation - Perception paysanne -Adaptation - Sahel - Burkina Faso.